

Ecobilan énergétique des supply chain d'importation de fruits et légumes - Application à la filière tomate

Mémoire de recherche présenté par *Pauline Feschet*
Le 3 octobre 2008

Pour l'obtention du :

Master 2 Recherche

*Économie et Gestion du Développement Agricole,
Agro-alimentaire et Rural*

Sous la direction de : Ludovic Temple (UMR Moisa) et Denis Loeillet (CIRAD)

Septembre 2008

Ecobilan énergétique des supply chain d'importation de fruits et légumes

- Application à la filière tomate

Mémoire de recherche présenté par *Pauline Feschet*
Le 3 octobre 2008

Pour l'obtention du :
Master 2 Recherche

*Économie et Gestion du Développement Agricole,
Agro-alimentaire et Rural*

Structure d'accueil

: CIRAD, Unité « Systèmes de culture bananes, plantains
et ananas »

Avec le concours financier de

: Chambre Syndicale des Importateurs Français de Fruits
et Légumes (CSIF)

Sous la direction de : Ludovic Temple (UMR Moisa) et Denis Loeillet (CIRAD)

Septembre 2008

Feschet Pauline

Ecobilan énergétique des supply chain d'importation de fruits et légumes
Résumé

En peu de temps, l'environnement et l'énergie se sont imposés au cœur des préoccupations sociales, institutionnelles et industrielles. Les systèmes productifs agricoles et agroalimentaires sont plus particulièrement interpellés, tant par des aspects économiques que de durabilité environnementale. Ils font de ce fait face à des demandes de plus en plus pressantes d'éléments de comparaison des systèmes de production et des schémas logistiques.

Or à ce jour, les méthodes mobilisables sont peu adaptées aux filières horticoles et les référentiels et données sont obsolètes, incomplets voire inexistants. Il y a donc un risque majeur à les utiliser pour fournir des informations stratégiques sur ces filières le pire étant de parvenir à des résultats erronés, validant ainsi certaines idées reçues. Il y a donc nécessité de proposer des outils de mesure d'impact fiables et transparents, qui prennent en compte les spécificités de ces filières.

Cette étude vise à développer une méthode d'évaluation des écobilans énergétiques des filières d'importation, en intégrant la démarche globale de l'Analyse de Cycle de Vie, et comme cas d'application la filière tomate.

Mots-clés : ACV, agriculture, bilan énergétique, filière, tomate

Energy balance of fruits and vegetable supply chain importation
Summary

In few time, environment and energy were obvious in the middle of social, institutional and industrial concerns. The agrarian and food productive systems are more particularly questioned both by economic and environmental durability aspects. They are confronted to requests more and more exigent of comparison elements about productions systems and logistical scheme.

Nowadays, methods than can be mobilized are not much adapted to horticultural sector, and reference and data frames are obsolete, incomplete or even nonexistent. Therefore there is a major risk to use them to provide strategic information on these supply chain, the worst being to reach wrong results, validating such certain accepted ideas. So, there is an urgent need to offer transparent and reliable tools of impact measure, which take into account the specificity of theses sectors.

This study aims at developing a evaluation method of the energy balance of the importation fruits and vegetable supply chains, by integrating the Life Cycle Analysis logic, and with as application case, the tomato production.

Key-words: LCA, agriculture, energy balance, supply chain, tomato

Université Montpellier 1 - UFR Sciences Economiques

Avenue de la Mer - 34960 Montpellier - Tél : 04 67 15 84 50 - www.sceco.univ-montp1.fr

REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements iront à la Chambre Syndicale des Importateurs Français et ses représentants, sans qui cette étude n'aurait pu être réalisée.

Je tiens à remercier, pour leur collaboration, les professionnels et experts qui m'ont reçu ou accordé un entretien téléphonique, sachant combien ce temps est précieux et la problématique à priori sensible.

Je remercie Ludovic Temple, mon responsable universitaire, de m'avoir orienté sur ce champ de recherche, tellement actuel et stratégique pour ces filières.

Je remercie également François Côte, chef de l'unité « Systèmes de culture banane, ananas et plantain », ainsi que les membres de l'Observatoire Des Marchés, Eric Imbert et Catherine Sanchez, pour m'avoir accueilli au sein de leur unité de recherche, soutenu et aidé dans mes démarches.

Enfin, je remercierai Denis Loeillet, mon responsable de stage, pour son investissement particulier dans ce travail.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : LA QUESTION DE RECHERCHE	2
1. Contexte	2
1.1. Le concept de développement durable.....	2
1.2. Le caractère multifonctionnel de l'agriculture.....	3
1.3. La notion de filière.....	3
1.4. L'Analyse de Cycle de Vie : une méthode d'évaluation combinant les approches développement durable et filière	4
2. La problématique énergétique comme point de départ	6
2.1. Constat : une interpellation tridimensionnelle	6
2.2. La filière Fruits et Légumes particulièrement concernée	7
3. Mise en évidence de la problématique générale et des enjeux	9
CHAPITRE 2 : CONCEPTS ET METHODES	10
1. Revue de littérature	10
1.1. Remise en cause des méthodes conventionnelles... ..	10
1.2. ... mais quelques travaux intéressants	16
1.2.1. Le haricot vert du Kenya	16
1.2.2. Les pommes de Nouvelle-Zélande.....	17
1.2.3. Le fromage de Nouvelle-Zélande.....	18
1.2.4. Remarques	18
2. Présentation de la filière Fruits et Légumes	20
2.1. Un dispositif complexe	20
2.2. L'organisation logistique comme clé de lecture de la filière	22
3. Proposition d'une méthode d'évaluation.....	26
3.1. Intérêt méthodologique et objectif	26
3.2. Cadrage méthodologique et hypothèses.....	26
3.2.1. Définition	26
3.2.2. Unité de compte.....	27
3.2.3. Origine des données et matrice des coefficients	27
3.2.4. Frontières du système étudié	27
3.2.4.1. La phase de production.....	29
3.2.4.2. La phase de conditionnement	30
3.2.4.3. La phase de transport	31
3.2.4.4. Le traitement des déchets	32
3.3. Contenu de la grille	34
3.3.1. La phase de production	34
3.3.1.1. Les consommations directes d'énergie.....	34
3.3.1.2. Les consommations indirectes d'énergie	35
3.3.1.3. Les consommations induites par le capital.....	36
3.3.2. La phase de conditionnement	38
3.3.3. La phase de transport.....	39

CHAPITRE 3 : ETUDE EMPIRIQUE : LE CAS DE LA FILIERE TOMATE	43
1. Organisation de l'étude.....	43
1.1. Origine des données.....	43
1.2. Frontières du système étudié.....	43
2. Justification du cadre empirique	44
2.1. Le choix du produit.....	44
2.2. Les zones d'étude	44
2.2.1. Le marché de la tomate dans le monde et en France	44
2.2.2. Le choix des pays et des régions de production.....	47
3. Présentation des filières selon les zones d'étude.....	48
3.1. L'organisation générale de la filière.....	48
3.2. Caractérisation des systèmes de production	49
3.3. Caractérisation de la phase de transport.....	52
4. Hypothèses et résultats	53
4.1. La production.....	53
4.2. Le conditionnement.....	59
4.3. Le transport	60
5. Synthèse et discussion.....	62
5.1. Cas où l'emballage et le substrat ne sont pas considérés	62
5.2. Cas où l'emballage et le substrat sont considérés	64
6. Limites et propositions.....	65
CONCLUSION.....	67
LISTE DES SIGLES, ABREVIATIONS	68
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	69
TABLE DES TABLEAUX	70
BIBLIOGRAPHIE	71
WEBGRAPHIE	78
ANNEXES.....	79
Annexe 1 : Matrice des coefficients énergétiques	79
Annexe 2 : Equivalence entre les unités énergétiques.....	80
Annexe 3 : Liste des personnes ressources	81
Annexe 4 : situations des zones de production.....	83
Annexe 5: Calcul du coût énergétique d'un plateau carton	86

INTRODUCTION

L'étude qui a été réalisée dans le cadre de ce stage est le fruit de la collaboration entre la Chambre Syndicale des Importateurs Français de fruits et légumes (CSIF) et le Cirad¹.

Compte tenu du contexte de plus en plus pressant sur les questions environnementales, énergétiques, de choix d'itinéraire technique et de localisation des zones production par rapport aux zones de production, les professionnels de la filière fruits et légumes ont eu besoin de disposer d'éléments (voire d'arguments) de réponse. Ils se sont vivement intéressés à ces problématiques, bien conscients que cela représenterait dans un avenir proche, une des clés de leur avantage comparatif et concurrentiel. Toutefois ils se sont trouvés jusqu'à présent face à un vide méthodologique.

Parallèlement, compte tenu de ses activités de recherche dans les pays tropicaux et en voie de développement, le Cirad s'est lui aussi intéressé à la problématique de la localisation des zones de production et à la durabilité des systèmes de production, soucieux de maintenir un équilibre dans ces zones déjà fragiles.

Ainsi il est proposé dans ce travail, après avoir établi dans une première partie les éléments du contexte et les enjeux de la problématique, de consolider dans une seconde partie, les bases d'une méthode d'évaluation des coûts énergétiques adaptée à la filière fruits et légumes, en mobilisant les apports et les limites de la littérature, et en caractérisant les spécificités de cette filière, et notamment son organisation logistique. Enfin, la dernière partie sera consacrée à l'application empirique, afin de tester la validité de la méthode proposée.

¹ Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

1. Contexte

1.1. Le concept de développement durable

Le concept de développement durable remonte aux années 70, au Club de Rome et à la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement humain de Stockholm (1972), à l'issue de laquelle fut proposé le concept d'*éco-développement*². Les pluies acides, le trou dans la couche d'ozone, l'effet de serre furent des éléments qui ont peu à peu sensibilisé l'opinion publique et la société civile. C'est ainsi qu'en 1987, la Commission mondiale sur l'Environnement et le Développement³ proposera, dans le rapport Bruntland, du nom de la présidente de cette Commission, la définition du développement durable la plus communément admise aujourd'hui, à savoir: le développement durable est « *un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs* ». Ce concept repose sur les notions de « durabilité » environnementale, économique et sociale, en définissant le caractère durable comme la réunion du « viable », du « vivable » et de « l'équitable ».

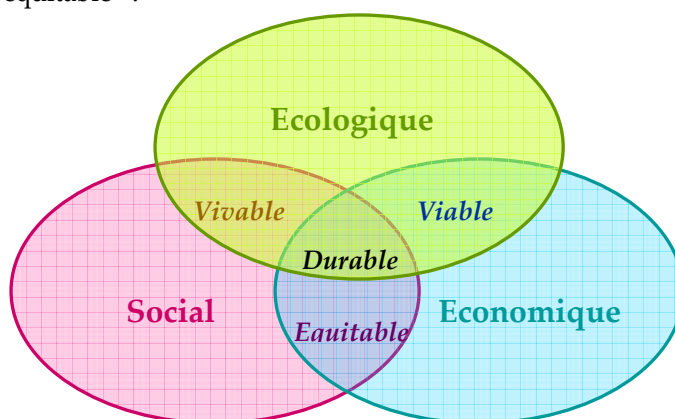


Figure 1: Schéma du développement durable

En 1992, le Sommet de la Terre qui se tenait à Rio, a été marqué par l'adoption d'un texte fondateur de 27 principes, intitulé « Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement », lequel précise et consacre la notion de développement durable. Cette déclaration témoigne de deux grandes préoccupations apparues pendant l'intervalle de vingt années séparant les deux conférences (Stockholm et Rio): la détérioration de l'environnement, notamment de sa capacité à entretenir la vie, et l'interdépendance de plus en plus manifeste entre le progrès économique à long terme et la

² Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire (MEEDDAT)

³ Rapport Brundtland, (1987). Notre Avenir à tous.

nécessité d'une protection de l'environnement⁴ (Nations Unies, 1993). Les principes suivant illustrent particulièrement bien ce propos :

- « *Les êtres humains sont au centre des préoccupations relatives au développement durable. Ils ont droit à une vie saine et productive en harmonie avec la nature.* » (principe 1)
- « *Pour parvenir à un développement durable, la protection de l'environnement doit faire partie intégrante du processus de développement et ne peut être considéré isolément.* » (principe 4)

1.2. Le caractère multifonctionnel de l'agriculture

L'agriculture s'est très vite retrouvée au cœur de cette réflexion de par son caractère multifonctionnel en englobant toute la gamme des fonctions écologiques, économiques et sociales⁵. En effet, au-delà de sa fonction traditionnelle et vitale de production d'aliments, de fibres et de combustibles, l'agriculture est également source de création de richesses et donc de développement économique et social. Elle revête aussi une fonction environnementale forte : plus que tout autre activité, elle dépend du renouvellement des ressources naturelles qu'elle valorise, et « en tant que gestionnaire d'une grande partie du territoire, l'agriculture préserve les paysages et les espèces, et assure de cette manière la biodiversité des milieux agricoles »⁶.

Ainsi « l'analyse de ce caractère multifonctionnel aide à comprendre les liens, synergies et arbitrages qui peuvent aider à assurer la durabilité à long terme de l'agriculture »⁷.

Cette réflexion plus globale autour des fonctions de l'agriculture a conduit à raisonner sur le long terme d'une part mais également à intégrer l'agriculture -stricto sensu- dans un contexte plus large, notamment par l'intermédiaire du concept de « filière ».

1.3. La notion de filière

« Le concept de filière a été imaginé par les économistes industriels pour faire référence à un ensemble d'activités liées dans un processus de production-transformation-distribution d'un bien ou d'un service » (Bencharif et Rastoin, 2007)⁸. Le pilotage récent et progressif de la production agricole par l'aval, a plus particulièrement mis en exergue le concept de filière agroindustrielle (Pérez et Rastoin, 1989, Aurier et al., 2000). Toutefois la lecture agricole et agroalimentaire de cette notion n'est pas si récente. Elle est issue des premiers travaux d'économie agro-industrielle, de Golberg et Davis

⁴ Nations Unies, 1993. Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement – Principes de gestion des forêts, New York (USA).

⁵ FAO, « Multiples fonctions de l'agriculture et des terres, l'état des lieux », 1999.

⁶ Ecobilan, « Une agriculture durable : le garant du développement en Europe », (2005).

⁷ FAO, idem.

⁸ Bencharif, A., Rastoin J.L., (2007). Concepts et Méthodes de l'Analyse de Filières Agroalimentaires : Application par la Chaîne Globale de Valeur au cas des Blés en Algérie, Working Paper n°7, MOISA.

(1957), qui ont développé le concept d'*agribusiness*. Ayant étudié les filières du blé, du soja et des agrumes, il semblait initialement désigné plutôt des filières ou un ensemble de filières, avant de faire plus précisément référence à l'agroindustrie⁹ (Rastoin, 1995). Pour Goldberg (1968), cité par Rastoin (2007), «l'approche [filière, *commodity system*] englobe tous les participants impliqués dans la production, la transformation et la commercialisation d'un produit agricole. Elle inclut les fournisseurs de l'agriculture, les agriculteurs, les entrepreneurs de stockage, les transformateurs, les grossistes et détaillants permettant au produit brut de passer de la production à la distribution ».

Trois types d'outils permettent d'étudier une filière : l'approche système qui considère la filière comme un système décomposé à son tour en sous-systèmes ; l'économie industrielle qui permet d'analyser l'ensemble des relations permanentes et réciproques entre les stratégies de firmes et les structures de la filière ; et enfin les outils de management telles que les analyses de coûts, les analyses stratégiques, ou la théorie de l'information et ses applications informatiques (Montigaud, 2007).

L'intérêt de cette approche « consiste à éclairer les zones d'ombre sur le circuit d'un produit, de la fourche à la fourchette, c'est-à-dire de l'acte de production jusqu'à l'acte de consommation »¹⁰ (Duteurtre, 2000). Elle permet ainsi de « déterminer les relations d'interdépendance technique, économique et organisationnelle entre les différents acteurs mais également avec l'environnement »¹¹ (Dieye, 2003) et comme Bencharif (2005) le précise si bien, sa « richesse [...] réside certainement dans sa capacité à saisir la complexité croissante du réel »¹². En effet, de par le processus de mondialisation et de libéralisation des économies, de nouvelles formes de coordination des activités se sont mises en œuvre. L'innovation technologique et le développement des moyens de communication ont complexifié les relations et les échanges et ont multiplié les interdépendances entre les agents, les biens et les services. Ainsi il apparaît aujourd'hui délicat d'isoler un élément de son environnement, et particulièrement l'agriculture, qui comme nous l'avons précisé, est multifonctionnelle.

1.4. L'Analyse de Cycle de Vie : une méthode d'évaluation combinant les approches développement durable et filière

De par l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables et les impacts environnementaux et socio-économiques majeurs, les problématiques énergétiques et environnementales se sont rapidement imposées au cœur des préoccupations sociales,

⁹ Rastoin J.L, (1995). Dynamique du système alimentaire français, in *Economie et Gestion Agro-alimentaire*, n° 36, juillet, Cergy-Pontoise, pp. 5-14.

¹⁰ Duteurtre G, Koussous M.O, Leteuil H., (2000). Une méthode d'analyse de filière, document de travail, synthèse de l'atelier du 10 - 14 avril 2000, LRVZ, N'Djamena (Tchad).

¹¹ Dieye P.N, (2003). Comportement des acteurs et performance de la filière lait périurbain de Kolda (Sénégal), Thèse n°61, IAMM.

¹² Bencharif A., (2005). Présentation Master of Science – module : analyse des filières agroalimentaires, CIHEAM-IAMM http://www.iamm.fr/enseignement/master_of_science/carte/05.html

institutionnelles et industrielles. Ce contexte explique l'accroissement des initiatives méthodologiques et des travaux de recherche en cours¹³, cherchant à mesurer ces impacts, tous secteurs confondus. Une méthode semble cependant faire plus particulièrement consensus, notamment depuis sa normalisation (ISO 14040/14044) : l'Analyse de Cycle de Vie (aussi appelée ACV¹⁴ ou *écobilan*).

Cette méthode répond en quelque sorte aux deux logiques précédemment exposées. En effet, elle se base à la fois sur la notion de développement durable en « permettant de quantifier les impacts [environnementaux] d'un *produit* (qu'il s'agisse d'un bien, d'un service voire d'un procédé) », ainsi que sur la notion de filière puisque l'évaluation s'étend sur l'ensemble du cycle de vie, « de l'extraction des matières premières [...] jusqu'à son élimination en fin de vie, en passant par les phases de distribution et d'utilisation, soit du *berceau au tombeau* »¹⁵ (*cradle to grave* en anglais) (ADEME, 2005).

Ainsi elle présente l'avantage d'aborder l'évaluation d'un point de vue global (vs local : analyse de risques) et multicritère (vs monocritère : bilan carbone®). Cela permet d'une part de repérer les impacts dominants, mais également les éventuels déplacements de pollution. L'ACV permet en outre la mise en perspective des différents types d'impacts repérés et de comparer des produits ou des services en termes de coûts environnementaux. L'ACV est donc un outil important d'aide à la décision stratégique¹⁶ (LERM, 2007).

L'ACV est à la fois une procédure, c'est-à-dire une suite d'étapes standardisées, mais aussi un modèle mathématique permettant de transformer des flux en impacts environnementaux potentiels. Les catégories d'impacts sont multiples, toutefois les principaux impacts sont l'effet de serre, l'acidification, l'eutrophisation, l'écotoxicité, l'ozone stratosphérique, l'oxydation photochimique et l'épuisement des ressources (Hélias, 2008)¹⁷.

Ce type d'analyse trouve ses origines dans les travaux des industriels et des chimistes (première étude multicritère Coca-Cola en 1969 menée par Harry et Teastley) et notamment dans les études visant à optimiser les consommations énergétiques, dans un contexte où des consommations d'énergie fortes représentaient une contrainte pour les industriels (coût, boycott possible...). La variable énergétique a ainsi joué un rôle primordial de façon générale, et en agriculture en particulier.

¹³ Voir 1Revue de littérature

¹⁴ Cette abréviation sera employée dans la suite du travail.

¹⁵ ADEME, (2005). Introduction à l'Analyse de Cycle de Vie (ACV), note de synthèse.

¹⁶ LERM, (2007). L'analyse du cycle de vie : historique et environnement normatif actuel, Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie des Liants Hydrauliques, Arles.

¹⁷ Hélias A., (2008). L'Analyse de Cycle de Vie – Les impacts environnementaux, Formation permanente INRA, 9-11 Juin 2008.

2. La problématique énergétique comme point de départ

2.1. Constat : une interpellation tridimensionnelle

Les chocs pétroliers de 1973 et 1979, créés par une augmentation des prix du pétrole liée à une organisation du marché de cette ressource, ont entraîné une forte hausse des prix de l'énergie, et ont conduit les pays industrialisés à opérer de profonds réajustements dans leurs systèmes énergétiques mais également des procédés industriels. Si ces événements des années 70 ont constitué une première interpellation pour l'orientation des choix technologiques en agriculture et dans les autres secteurs d'activités –toutes proportions gardées puisqu'ils semblent avoir eu à priori peu d'impact sur l'agriculture qui a poursuivi une trajectoire technologique mobilisant des intrants fortement consommateurs d'énergie-, l'augmentation structurelle des prix de l'énergie de ces dernières années questionne d'avantage la durabilité des systèmes productifs des agricultures fortement consommateurs d'énergies fossiles, du fait de l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables. Cette interpellation porte sur trois questionnements, de type environnemental, social et économique.

La crise actuelle est plus grave car à des perspectives d'épuisements de la ressource s'additionnent les externalités environnementales de la consommation d'énergie fossiles à travers l'effet de serre. Par exemple, en 2005, le secteur agriculture et sylviculture a contribué pour 18,9% à l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre au niveau français (Ifen). Au niveau mondial, cette place significative de l'agriculture reste valable (13% selon l'AIE en 2000).

D'un point de vue social, l'accroissement des prix de l'énergie a des conséquences contrastées. En première analyse, elle augmente le prix des produits alimentaires les plus consommateurs d'énergie dont particulièrement les produits frais, et d'accentuer les inégalités d'accès à ces produits. En deuxième analyse, elle contribue aussi à réhabiliter des circuits d'approvisionnements de proximité. Le concept de « ceinture verte maraîchère » est redécouvert par les communautés urbaines. A un autre niveau, l'épuisement progressif des ressources rend le marché de l'énergie fragile et provoque irrémédiablement des hausses des prix de l'énergie, qui devraient selon les scénarios mobilisables s'amplifier (Wingert, 2006). Selon le PAM, « le changement d'orientation en faveur de la production des biocarburants a détourné des terres de la chaîne alimentaire »¹⁸, entraînant de fait une concurrence entre les produits alimentaires et les carburants, ainsi qu'une spéculation sur les marchés, à l'origine de l'envolée récente des prix des matières premières agricoles et des denrées alimentaires.

Enfin, la problématique énergétique pourrait remettre en cause la compétitivité économique de certaines filières. En effet le secteur agricole et celui de l'industrie agroalimentaire qui lui est lié, sont particulièrement concernés par les évolutions suscitées. Les modes de production agricole sont

¹⁸ PAM, (2008). L'ONU s'inquiète du développement des biocarburants, Programme Alimentaire Mondiale, Genève (Suisse).

fortement dépendants des énergies fossiles, directement utilisées pour les tracteurs et autres équipements (pompes pour l'irrigation, serres, séchoirs, chambres froides...), mais aussi indirectement pour la fabrication de ces machines, d'engrais chimiques et de nombreux intrants, ou encore pour le transport des produits : fret aérien, maritime ou routier. Ainsi l'augmentation du coût de l'énergie se répercute sur les coûts de production.

De ce fait, à travers la problématique énergétique, on interroge le caractère durable de l'agriculture, en soulevant les questions d'équité intergénérationnelle, d'efficacité économique et d'impact environnemental.

Compte tenu de ces éléments, il s'ensuit la nécessité de s'interroger sur la manière de changer de paradigme technologique en agriculture conduisant à modifier la fonction de production actuelle.

Au-delà de ces considérations pratiques, se sont également les pressions sociales, institutionnelles et politiques qui conduisent les professionnels de l'agriculture à prendre en considération la question énergétique comme un élément croissant de pilotage des innovations techniques. Ces pressions s'expriment par l'évolution des normes existantes au niveau des conditions d'utilisation des intrants dans les systèmes de production (dispositions communautaires en matière de teneur maximale de résidus de pesticides), au niveau du ciseau des prix (loi Galland, loi Dutreil) - notamment entre le prix des intrants et celui des produits-, au niveau des normes en émergence sur les produits (dispositions communautaires en matière de normes de qualité) et qui pourraient devenir demain le principal élément structurant de la compétitivité de ces produits. Un exemple révélateur de ces pressions institutionnelles est celui du futur affichage environnemental des produits de grande consommation et dont l'ADEME est chargée de mettre en place d'ici 2011¹⁹.

2.2. La filière Fruits et Légumes particulièrement concernée

Les techniques utilisées par le secteur agricole apparaissent donc au cœur de grandes problématiques contemporaines. Au sein de ce secteur, les productions horticoles sont particulièrement questionnées en termes de viabilité économique des trajectoires technologiques mobilisées.

En effet les filières horticoles, autant pour les marchés nationaux que d'exportation, sont souvent décrites comme de grandes consommatrices en ressources (énergies fossiles, eau...) et intrants chimiques (engrais, pesticides, etc.), dommageables pour la santé des hommes comme pour celle des écosystèmes (sol, eau, climat). Une autre des interpellations porte sur le développement des productions sous-serre chauffées (Hollande, Belgique), ainsi que sur l'accélération des mouvements de

¹⁹ Grenelle de l'Environnement, (2007). Groupe IV - Vers des modes de production et de consommation durables, Synthèse et principales mesures.

délocalisation des zones de production dans l'hémisphère Sud (Chili, Sénégal, Kenya...), qui par hypothèse augmentent le coût écologique et énergétique respectivement lié au chauffage et au transport de ces cultures. Ainsi, ces conditions de production permettent de consommer des fruits et légumes frais tout au long de l'année (consommer des tomates et des fraises en hiver par exemple).

Or l'intérêt nutritionnel de ces produits est désormais largement mis en avant. D'ailleurs ils connaissent une croissance mondiale forte (croissance annuelle moyenne de 3% - Source FAO, voir Annexe 1) et le marché international est en pleine expansion (croissance annuelle moyenne des importations extracommunautaires de 8,3% - Source Eurostat, voir Annexe 2).

3. Mise en évidence de la problématique générale et des enjeux

Compte tenu de la mise en perspective des éléments précédents, en termes de contexte et de dynamique de la filière, il convient de s'interroger sur l'impact réel du coût énergétique sur les choix technologiques (systèmes de cultures, emballage, logistique, etc.) et les dynamiques de localisation des productions horticoles (délocalisation vs local). En d'autres termes, vaut-il mieux produire proche des zones de consommation, ce qui implique bien souvent le chauffage et la protection sous abri des cultures, ou bien délocaliser dans des zones pédo-climatiquement plus favorables, auquel cas il faut prendre en compte le transport induit ?

Comme nous l'avons signalé, toute la filière est concernée, « du producteur procédant au "bilan énergétique" de son exploitation, au consommateur adoptant une attitude "citoyenne", en passant par la logistique, l'emballage... »²⁰. Cette nouvelle conscience « écologique » et la maîtrise de ces variables représentent un véritable enjeu pour l'ensemble des acteurs de la filière. Il y a un intérêt économique évident, en mettant en évidence les étapes critiques et permettant de repérer les opportunités d'économies d'énergie qui se traduisent par des économies financières. Mais il y a surtout un enjeu en termes d'image sociétale. Guy Dubon caractérise le consommateur comme "bipolaire", « amateur de fraises en hiver et critique envers l'énergie gaspillée pour les produire ou les transporter »²¹. Et là encore, se sont les distributeurs²² qui maîtrisent et façonnent les orientations à prendre. De par leur proximité avec les consommateurs et leur capacité à cerner leurs attentes, et de par leur poids au sein des circuits de distribution (plus de 70% selon *Réussir Fruits & Légumes*²³), ils ne cessent d'accentuer la pression et les contraintes (exemples des affichages/étiquetages environnementaux de Tesco, Casino et Leclerc).

« Cette approche "énergétique" pourrait conduire à une nouvelle vision de la production des fruits et légumes où localité et saisonnalité seraient des "arguments vendeurs" auprès d'un consommateur "écologiquement responsable" »²⁴.

²⁰ Dubon G., (2007). L'énergie dégage de nouveaux horizons, *Réussir Fruits et Légumes* n° 260, Mars 2007.

²¹ Idem.

²² On désigne par Grande Distribution (GD) le groupe hypermarchés, supermarchés et hard discount.

²³ Serres M., Dubon G., (2008). Spécial Felscope : Distribution, un lien entre producteurs et consommateurs, *Réussir Fruits et Légumes*, Février 2008.

²⁴ Dubon G., (2007), idem.

1. Revue de littérature

1.1. Remise en cause des méthodes conventionnelles...

Dans le cadre d'un premier travail ayant conduit à réaliser un état de l'art sur la thématique de la consommation énergétique dans les filières agricoles et plus particulièrement horticoles, il a été mis en évidence le fait que les méthodes d'écobilans mobilisables pour la filière horticole dans sa globalité, ainsi que les données et référentiels étaient obsolètes, incomplets voire inexistantes sur certains aspects. Le paragraphe suivant rend compte des principaux travaux méthodologiques conduits dans le monde depuis les années 70 (USA, Canada, Danemark, Suisse, France, Royaume-Uni, Nouvelle-Zélande). Le contexte et les préoccupations étant différents selon le moment d'étude, la problématique énergétique n'a pas été envisagée de la même manière que ce soit aux prémices ou dans les études contemporaines. Ainsi, on a pu constater une nette évolution des orientations de recherche au cours du temps.

Les premières études (Pimentel 1980, Odum 1983 1991, Hannon 1973 1986) ont été initiées suite aux chocs pétroliers, dans l'objectif de déterminer le coût énergétique des productions agricoles des grandes cultures céréalières (maïs, blé...). L'étude de Pimentel (Pimentel, 1980) est d'ailleurs considérée comme la référence dans ce domaine. Elle produit un grand nombre de coefficients énergétiques, à la base même des méthodes d'évaluation des coûts énergétiques. La démarche mobilisée est cependant de plus en plus controversée notamment dans sa cohérence et son manque d'uniformité.

Après avoir largement été traitée dans ces années là, la problématique de la consommation d'énergie en agriculture a été quelque peu délaissée, avant d'être à nouveau au centre des préoccupations, couplant désormais un contexte de crise énergétique à celui de fortes préoccupations environnementales et de durabilité. Certains travaux se sont alors attachés à actualiser et adapter les méthodes existantes (CIGR 1999, Wells 2001, Dalgaard 2001), mais c'est surtout la problématique des émissions de gaz à effet de serre qui a fait l'objet d'attentions particulières (Coxworth 1997, Fisher 1999, Bilan Carbone® ADEME 2007). C'est certainement la Suisse qui a le plus contribué à l'avancée des travaux, en développant un outil méthodologique puissant et une base de données importante, Ecoinvent, recensant les informations de près de 2500 produits, régulièrement utilisés dans les ACV. Cette méthodologie, très complète, permet d'avoir une vision globale des systèmes de productions agricoles, en intégrant 7 autres secteurs industriels (Frichknecht *et al.*, 2004).

Avec la croissance accélérée du commerce international, des interpellations plus fortes ont porté sur l'importance des coûts de transport et ses externalités environnementales. Le concept de

« Food Miles », représentant la distance parcourue d'une denrée alimentaire de sa production à sa consommation, a ainsi été développé par les britanniques (DEFRA, 2005), important importateur de produits frais en outre. Bien qu'innovante cette approche a très vite été contestée et remise en cause (Rama et Lawrence, 2008²⁵). En effet, la distance en soi n'est qu'un attribut d'un indicateur plus complexe. La distance parcourue (km) n'a de significativité que si elle est standardisée par une certaine mesure de quantité, à savoir le volume transporté (tonnes), ce qui implique de raisonner en tonnes/km, ce qui n'est pas le cas dans ce concept. Parallèlement, compte tenu de l'augmentation des coûts du pétrole et surtout de l'épuisement des ressources, la recherche de solutions alternatives a conduit à s'intéresser à la problématique des biocarburants. De nombreux travaux ont été menés sur ces produits et notamment sur leur efficacité énergétique (IFEU 2003, De Nocker L. *et al* 1998, Puppan D. 2002, DEFRA 2003, ADEME 2004, etc.).

Ces différents travaux ont permis de consolider la construction d'un bilan énergétique autour de trois types d'énergie (énergie directe, indirecte et issue du capital) et ont mis en évidence l'importance des référentiels en termes de coefficients énergétiques, et plus particulièrement le choix de ces coefficients. Les tableaux suivants permettent d'avoir une vision globale de cette revue de littérature, en mettant en évidence leurs intérêts et leurs limites.

²⁵ Rama I., Lawrence P., (2008). Food Miles – A Critical Evaluation, Victorian Department of Primary Industries, Melbourne (Australia).

	Zone de pertinence	Bilan énergétique	Intérêts	Limites
Food Miles Pretty et DEFRA	Royaume-Uni	<p>-modes de transport (routier, ferroviaire, aérien, maritime et production vers ménages)</p> <p>-tonnes-kilomètres, part de transport à vide, charge transportée/véhicule/km, distances moyennes parcouru, taux d'exportation</p> <p>=> 4 indicateurs:</p> <p>-UK urban food transport</p> <p>-imports food transport</p> <p>-overseas transport</p> <p>-international transport</p>	<p>- approche originale de la problématique énergétique par le biais des transports</p> <p>- mise en évidence des éléments de calcul du transport des marchandises</p> <p>-matérialisation de ce concept et sensibilisation des consommateurs par "l'emprunte carbone" (Tesco, Marck & Spencer)</p>	<p>- limitation à la phase de transport, point de vue limiter pour se prononcer sur le caractère durable de l'agriculture</p> <p>- données inexploitable pour analyse énergétique car utilisation d'indicateurs d'émission de GES, indicateurs qualitatifs coûts/avantages, ...</p> <p>- approche globale des filières horticoles, hypothèse de compensation des coûts discutable</p> <p>- aucune considération du capital (moyens de transport), entretien et réparation, et de la gestion des déchets</p>
CAPRI Fischer	Suisse	<p>concept de "cumulated energy use"</p> <p>=> <u>énergie directe</u>:</p> <p>carburants, lubrifiants, électricité</p> <p>=> <u>énergie indirecte</u></p> <p>bâtiments, engrais, produits phytosanitaires, machines et matériels agricoles, fourrage</p>	<p>- distinction énergie directe / énergie indirecte</p> <p>- composition et calcul des éléments du bilan énergétique</p>	<p>- approche microéconomique (exploitation), limitée à la production</p> <p>- contenu méthodologique largement incomplet (non prise en compte de irrigation, semences/plants, chauffage, refroidissement, gaz, rupture de chaîne dans les coefficients</p> <p>- recyclage et gestion des déchets non traité</p>
EcolInvent Jungbluth	Suisse	<p>- 7 secteurs interdépendants:</p> <p>énergie, matériaux construction, matériaux de conditionnement, produits chimiques, agriculture, transport, traitement des déchets</p> <p>- 4 catégories flux élémentaires (air, ressources, sol, eau) et sous catégories</p> <p>ICV à 3 composantes: infrastructures, intrants et outputs</p>	<p>- méthodologie très complète</p> <p>- ACV de 7 secteurs industriels fortement liés à l'agriculture</p> <p>- vision globale des systèmes de production</p> <p>- approche filière (étude phases fabrication, utilisation, fin de vie)</p> <p>- recours à un indicateur d'incertitude</p> <p>- non limitation au territoire suisse, application européenne</p>	

Zone de pertinence	Bilan énergétique	Avantages	Inconvénients
Food Miles Pretty et DEFRA	<p>-modes de transport (routier, ferroviaire, aérien, maritime et production vers ménages</p> <p>-tonnes-kilomètres, part de transport à vide, charge transportée/véhicule/km, distances moyennes parcouru, taux d'exportation</p> <p>=> 4 indicateurs:</p> <p>-UK urban food transport</p> <p>-imports food transport</p> <p>-overseas transport</p> <p>-international transport</p>	<p>-approche originale de la problématique énergétique par le biais des transports</p> <p>-mise en évidence des éléments de calcul du transport des marchandises</p> <p>-matérialisation de ce concept et sensibilisation des consommateurs par "l'emprunte carbone" (Tesco, Marck & Spencer)</p>	<p>-limitation à la phase de transport, point de vue limiter pour se prononcer sur le caractère durable de l'agriculture</p> <p>-données inexploitable pour analyse énergétique car utilisation d'indicateurs d'émission de GES, indicateurs qualitatifs coûts/avantages, ...</p> <p>-approche globale des filières horticoles, hypothèse de compensation des coûts discutable</p> <p>-aucune considération du capital (moyens de transport), entretien et réparation, et de la gestion des déchets</p>
CAPRI Fischer	<p>concept de "cumulated energy use"</p> <p>=>énergie directe:</p> <p>carburants, lubrifiants, électricité</p> <p>=>énergie indirecte</p> <p>bâtiments, engrais, produits phytosanitaires, machines et matériels agricoles, fourrage</p>	<p>- distinction énergie directe / énergie indirecte</p> <p>- composition et calcul des éléments du bilan énergétique</p>	<p>-approche microéconomique (exploitation), limitée à la production</p> <p>-contenu méthodologique largement incomplet (non prise en compte de irrigation, semences/plants, chauffage, refroidissement, gaz, rupture de chaîne dans les coefficients</p> <p>-recyclage et gestion des déchets non traité</p>
EcoInvent Jungbluth	<p>-7 secteurs interdépendants:</p> <p>énergie, matériaux construction, matériaux de conditionnement, produits chimiques, agriculture, transport, traitement des déchets</p> <p>-4 catégories flux élémentaires(air, ressources, sol, eau) et sous catégories</p> <p>ICV à 3 composantes: infrastructures, intrants et outputs</p>	<p>-méthodologie très complète</p> <p>-ACV de 7 secteurs industriels fortement liés à l'agriculture</p> <p>-vision globale des systèmes de production</p> <p>-approche filière (étude phases fabrication, utilisation, fin de vie)</p> <p>-recours à un indicateur d'incertitude</p> <p>-non limitation au territoire suisse, application européenne</p>	

Zone de pertinence	Bilan énergétique	Intérêts	Limites
Wells	<p>5 indicateurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> rendement (kg/ha) ; coût énergétique (GJ/ha) ; ratio énergétique ($\text{MJ}/\text{MJ}_{\text{net}}$) ; taux d'émission de CO_2 (tCO_2/ha) ; utilisation d'énergies renouvelables (%). => consommations directes d'énergie : carburants, lubrifiants, électricité => consommations indirectes : engrais, produits phytosanitaires, semences, nourriture pour animaux, pâture => consommations d'énergie induites par le capital : véhicules, autres matériels, hangars, bâtiments, clôtures, réservoir d'eau, système d'irrigation, drainage, système de traitement des eaux usées 	<ul style="list-style-type: none"> - conception tridimensionnelle de la consommation énergétique - évaluation des coûts énergétique complète - coefficients énergétiques complets, distinguent énergie intrinsèque et énergie pour mise à disposition - prise en compte du coût du traitement des eaux usées 	
Coxworth	<ul style="list-style-type: none"> => énergie directe : carburants pour transport (camion et voiture), équipements (tracteur et autre machine auto-propulsée) -énergie pour chauffage (gaz naturel, propane) -électricité pour lumière et le fonctionnement des autres équipements => énergie indirecte : engrais et autres matières premières, matériel agricole, bâtiments, pesticides 	<ul style="list-style-type: none"> - conception du bilan énergétique 	<ul style="list-style-type: none"> - approche microréconome (exploitation) - application aux seules productions céréalières et animales, inadaptation aux filières horticoles (serre, plastique, plants, matériels agricoles spécifiques...) - rupture de chaîne coefficient énergétique des énergies fossiles (limité au pouvoir calorifique supérieur) - rupture de chaîne dans coût énergétique matériels agricoles - absence irrigation, chauffage, chambres froides, gestion des déchets
Dalgaard	<ul style="list-style-type: none"> => énergie directe : carburant, lubrifiants et électricité <ul style="list-style-type: none"> opérations utilisant du diesel (6) : ensemencement, fertilisation, protection des cultures, récolte, transport et chargement, et traitements. opérations utilisant d'autres sources d'énergie directe (3) : irrigation, chauffage et lubrification des tracteurs => énergie indirecte : matériel, engrais, pesticides 	<ul style="list-style-type: none"> - conception originale de la consommation - description hypothèses de calcul 	<ul style="list-style-type: none"> - approche microréconome (exploitation) - application aux seules productions animales, inadaptation aux filières horticoles (serre, plastique, plants, matériels agricoles spécifiques...) - évaluation consommation indirecte d'énergie confuse, mise en cause de la construction des coefficients énergétiques

Source: *Elaboration P. Feschet*

Néanmoins, comme nous l'avons suggéré au début de ce paragraphe, l'ensemble de ces études ne permet pas de répondre aux enjeux auxquels doit faire face aujourd'hui la filière agricole d'une part, mais surtout la filière horticole d'autre part. En effet, une première imprécision porte sur la capacité à développer une démarche filière intégrant le processus global d'élaboration jusqu'à la consommation d'un produit. Ce type de travaux existe peu ou alors est relativement partiel et incomplet²⁶. Une deuxième limite porte sur les conditions d'élaboration principalement focalisées sur les productions céréalières ou l'élevage, et sur le transfert de coefficients énergétiques sur d'autres productions avec des spécificités technologiques différentes²⁷. Une troisième remarque est liée à la nomenclature des coefficients énergétiques, leur actualité et leur contenu. Plusieurs coefficients datent des années 80-90, ce qui n'est pas représentatif puisque d'importants changements technologiques se sont produits depuis, et par ailleurs les conditions d'élaboration de ces indicateurs restent plutôt opaques, rendant leur utilisation souvent inadaptée²⁸.

Du point de vue des outils disponibles, il n'y a pas non plus de réelle adhérence avec les fruits et légumes. La méthode Planète développée par Solagro²⁹ est effectivement un outil intéressant d'évaluation des consommations énergétiques au niveau de l'exploitation, mais il est adapté aux productions céréalières, laitières et animales. Les *Food Miles* avaient permis d'ouvrir le champ d'étude, mais comme nous l'avons dit, cette approche présente d'importantes limites. Actuellement, la problématique des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) a pris le pas -celle du coût énergétique lui étant tout de même fortement corrélée- et on fait le même constat concernant la filière horticole. Le Bilan Carbone® de l'Ademe, tout comme le Carbon Trust³⁰ au Royaume-Uni, sont plutôt destinés à des administrations ou entreprises afin qu'elles réduisent leur impact environnemental, plutôt qu'à un produit. En France, les enseignes Leclerc et Casino ont récemment mis en place des systèmes d'affichage et d'étiquetage environnemental. Cet étiquetage a pour objectif de sensibiliser le consommateur et *in fine* de l'aider dans ses choix. Or les informations présentées sont issues d'ACV simplifiées, calculées pour un produit générique, rendant impossible la comparaison entre différentes marques, différentes origines et différents modes de production (e.g : tomate du Maroc, d'Espagne, de Hollande). Par ailleurs, il semblerait que la multiplication d'initiatives n'atteigne pas toujours son but. Par exemple, l'initiative de Tesco, apposant le symbole d'un avion sur l'emballage de vente pour des

²⁶ Ce travail est évidemment moins aisé que, par exemple, pour des produits industriels dont les itinéraires techniques sont relativement semblables quelque soit la zone de production. Or dans le cas des fruits et légumes, la localisation de la production est déterminante et influence aussi bien les pratiques culturales, le conditionnement que la logistique.

²⁷ Non prise en compte d'éléments tels que l'utilisation de plastique sous toutes ses formes (couverture serre, paillage...), le stockage en chambres réfrigérées, etc.

²⁸ C'est notamment le cas du coefficient énergétique des engrais qui ne permet pas forcément de tenir compte de la distance parcourue avant l'utilisation, élément important dans le cas des productions du Sud qui importent la plupart de leurs intrants (produits phytosanitaires, engrais...).

²⁹ <http://www.solagro.org/>

³⁰ <http://www.carbontrust.co.uk/default.ct>

produits frais transportés par voie aérienne, a été perçue par les consommateurs comme un signe de qualité et de fraîcheur, du fait de la rapidité de transport... et non pas comme un avertissement sur l'impact environnemental du fret aérien.

1.2. ... mais quelques travaux intéressants

1.2.1. Le haricot vert du Kenya

Cette étude part du constat simple que les importations par avion de fruits et légumes frais d'origine africaine constituent respectivement 60 et 40% du fret aérien britannique de produits alimentaires. 58% des haricots verts importés au Royaume Uni viennent du Kenya, lesquels représentent 70% des exportations kényanes de ce même produit.

Cette étude s'est donc concentrée sur l'approvisionnement des supermarchés britanniques en haricots verts. Ainsi elle compare deux origines de production : le haricot vert produit au Royaume-Uni, et le haricot vert produit au Kenya, importé au Royaume-Uni par avion. Le but de ce travail est de mettre en évidence la différence entre ces deux filières, et en particulier d'évaluer l'impact du fret aérien sur le coût énergétique total. Pour cela, elle considère les phases de production, de conditionnement et de transport. Elle s'est appuyée sur quatre études européennes afin de déterminer les résultats britanniques, et a réalisé des enquêtes auprès des producteurs au Kenya. Cette analyse conclue que le coût énergétique de la filière haricot vert vendu en supermarché au Royaume-Uni varie entre 4,74MJ/kg et 5,30MJ/kg pour la filière britannique, et entre 62,51MJ/kg et 63,54MJ/kg pour la filière kényane, ce qui est largement favorable à la première.

L'auteur met lui-même en évidence les limites qu'on peut relever dans ce travail. Le premier élément concerne la non considération des éléments classiques tel que la consommation d'énergie associée à la fabrication des machines (matériel d'irrigation et de conditionnement, chambres frigorifiques, véhicules utilisés pour la distribution, etc.) ; les énergies induites par la fabrication des fertilisants et des pesticides, la construction des stations de conditionnement ou tout autre bâtiment agricole, l'énergie consommée pour la production et la distribution des semences, et enfin l'énergie nécessaire pour la maintenance, la réparation, et le recyclage des machines agricoles et des autres équipements. Par ailleurs, il n'est pas pris en compte la réfrigération des produits ni la gestion des déchets (et ce quelque soit la phase). Enfin, s'étant appuyé sur quatre études européennes hors Royaume-Uni, les résultats ne sont que partiellement représentatifs du système de production de cette zone, d'autant qu'il n'a pas été pris en compte le cas de la production sous-serre, ce qui aurait certainement changé les résultats compte tenu du coût imputé au chauffage. La mise en évidence de ces éléments montre ainsi la difficulté de les évaluer dans le cadre des productions horticoles.

L'auteur ouvre de nouveaux axes de recherche et insiste sur plusieurs points qui pourraient être ultérieurement approfondis, tels que l'information relative aux systèmes de production (notamment à travers les variables de rendement, de taille d'exploitation et de saisonnalité), au type de production (bio vs conventionnel), ou à l'organisation logistique de la distribution en supermarché ainsi que pour les autres circuits de distribution.

Malgré ces limites, l'intérêt de cette étude est de mettre en évidence la variable (dé)localisation et donc transport, ainsi que de considérer la phase de conditionnement. Ce travail représente une des rares études ayant adopté l'approche filière dans le cadre d'une production horticole.

1.2.2. Les pommes de Nouvelle-Zélande

Le cas de la pomme est particulier puisque en quelque sorte la comparaison entre la filière locale et la filière d'importation est la résultante d'un arbitrage entre le transport par bateau des pommes importées et le stockage pendant plusieurs mois des pommes produites localement (cas de l'Europe). Blanke et Burdick³¹ se sont justement attachés à comparer l'énergie consommée dans ces deux cas de figure. Ils ont pu conclure que le coût énergétique imputé au fret maritime était supérieur à celui imputé aux cinq mois de stockage en chambre froide (2,8MJ/kg vs. 0,81MJ/kg). Même au niveau global de la filière, l'avantage reste à la filière locale (5,893MJ/kg contre 7,499MJ/kg). Même si ces résultats sont à priori intéressants, on relève une limite majeure : l'utilisation du même coefficient énergétique pour la phase de production quelque soit la zone, et ce d'autant plus que ce coefficient n'est pas récent (Pimentel 1979). On peut en déduire qu'il ne tient pas compte des différences en terme de système de production, et qu'il n'a pas intégré les évolutions technologiques de ces dernières décennies, et donc par conséquent qu'il n'est pas des plus représentatifs de la réalité. Par ailleurs, l'analyse des résultats apparaît un peu « simple », notamment au regard des travaux de Milà i Canals *et al*³².

Ces derniers se sont intéressés aux éléments critiques pouvant avoir une influence sur la consommation d'énergie, tels que les modes de production, la période de consommation et donc le besoin de stockage qui en découle, ou encore les étapes post-vente, et ils ont intégré ces variables dans la comparaison des filières. Ils apportent ainsi un éclairage nouveau, en modélisant des scénarios basés sur différentes saisons et origines d'approvisionnement. Les résultats obtenus sont forcément plus complets et riches d'information. Ils concluent en premier lieu qu'il est peut être préférable de manger des pommes de saison produites dans le pays de consommation mais qu'il est surtout difficile

³¹ Blanke M., Burdick B., (2005). Food (miles) for thought – Energy balance for locally-grown versus imported apple fruit. *In* Environmental Science and Pollution Research, vol 12, n°3, pp125-127.

³² Milà i Canals L. *et al.*, (2007). Comparing domestic versus imported apples: a focus on energy use. *In* Environmental Science and Pollution Research, vol 14, n°5, pp338-344.

de donner un résultat clair quant à la différence entre des pommes « européennes » (produites dans un pays de l'Union mais consommées dans un autre) et les pommes de l'hémisphère Sud. En effet, ils insistent sur le fait qu'il est difficile de faire des recommandations tellement la variabilité des données est grande selon les pratiques agricoles et la saison considérées. De ce fait ils ne sont pas aussi catégoriques sur la préférence en faveur des pommes produites et consommées dans le même pays, par rapport à une combinaison des approvisionnements à la fois des hémisphères Nord et Sud.

1.2.3. Le fromage de Nouvelle-Zélande

La Nouvelle-Zélande est un des plus grands exportateurs mondiaux de produits laitiers. Ce secteur d'activité a une importance majeure dans l'économie du pays puisqu'il représente par exemple 17% des exportations néo-zélandaises (en valeur). Mais tout comme pour la pomme, son commerce pose la question de la distance entre les sites de production et les sites de consommation (23000 km entre la N.Z et l'Europe). La problématique initiale était donc de s'interroger sur la menace que pouvaient représenter les *food miles* dans la capacité des produits agricoles N.Z à accéder aux marchés occidentaux.

Dans leur étude, Basset-Mens *et al*³³ ont montré que le transport maritime n'était pas le point critique du système (10% du coût énergétique total). Ils ont également montré que le système de production et la filière « fromage » N.Z étaient près de 2 fois plus efficace que les systèmes suédois et allemand en termes de consommation énergétique, et qu'ils étaient, de manière générale, plus favorable et donc durable du point de vue environnemental. Ces résultats peuvent s'expliquer notamment par le recours à une alimentation naturelle des bêtes (pâturage) et à la très bonne qualité de cette alimentation (trèfle + ivraie), ce qui évite l'importation d'alimentation animale et l'utilisation d'azote. Toutefois cette situation risque d'évoluer, la récente et rapide intensification des exploitations laitières N.Z a accru l'incertitude vis-à-vis de la durabilité des systèmes agricoles actuels et futurs.

1.2.4. Remarques

L'intérêt de ces études est multiple. Le premier élément est le fait d'avoir pris en compte la filière dans son ensemble, et ainsi la variable localisation des zones de production par rapport aux zones de consommation. De ce fait, il a été montré que le transport n'était pas forcément une variable discriminante dans le bilan énergétique d'un produit. Le second élément important est la mise en évidence d'éléments clé qui peuvent faire varier sensiblement les résultats, à savoir le rendement, la saisonnalité et les différences en terme de système de production. Enfin, le dernier élément que l'on

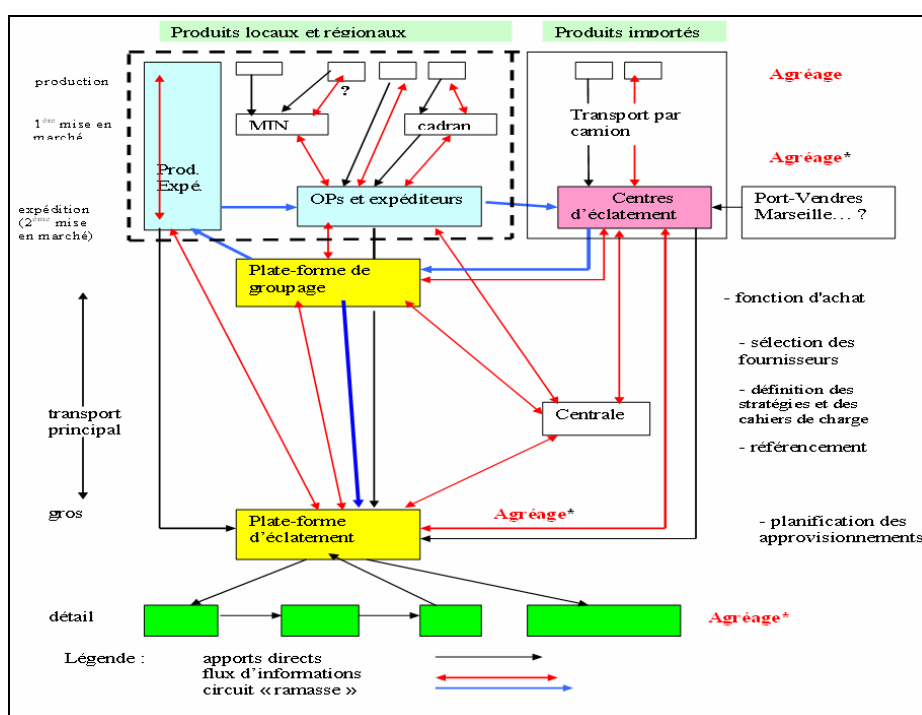
³³ Basset-Mens C., McLaren S., Ledgard S., (2007). Exploring a comparative advantage for New Zealand dairy products in terms of environmental performance. Agresearch, New Zealand.

retient dans ces différentes études, c'est les incertitudes sur les données, en outre de par la grande variabilité des résultats au sein d'un même système et cela dans toutes les productions. Cela met en évidence des difficultés à évaluer le coût énergétique réel d'une filière, et donc les simplifications qui sont nécessairement faites.

2. Présentation de la filière Fruits et Légumes

2.1. Un dispositif complexe

Selon Rastoin (2007)³⁴, la notion de filière a une base technique et désigne « l'ensemble des acteurs et des processus qui concourent à l'élaboration et à la commercialisation d'un produit ou d'un groupe de produits ». La filière fruits et légumes et au delà le système agro-alimentaire dans sa globalité, sont des « secteurs de prédilection pour l'analyse de filière ». En effet, la filière fruits et légumes est de nature complexe, du fait de la multitude d'acteurs, de systèmes de production, de circuits de distribution, de modes d'organisation et de régulation. La figure ci-dessous rend compte de cette complexité et met en évidence les différents intervenants et la diversité des modes opératoires.



Source : Montigaud J.C. (2002).

Figure 2: Fonctionnement des filières F&L dans l'UE

A partir de ce schéma, on identifie les acteurs suivants : les fournisseurs d'intrants (semences, engrais, matériel agricole...), les producteurs, les expéditeurs et OP (conditionnement, allotissement, transport...), les transporteurs, les grossistes (réception, fractionnement, assortiment...) et centrales d'achat de la grande distribution, et les enfin détaillants (GMS, marché, primeurs...).

On regroupe sous le terme de Grandes et Moyennes Surfaces, les magasins en libre service (hyper et supermarchés, supérettes) et les centrales d'achat de ces magasins. Depuis quelques années, de par sa progression, le hard discount est également pris en compte dans cette notion. Malgré une intervention en aval et en fin de chaîne, la grande distribution est souvent considérée comme celle qui maîtrise et pilote la filière. En effet, les GMS commercialisent plus de 60% des Fruits et Légumes

³⁴ Rastoin J.L., (2007). Economie et stratégie agro-industrielle : le système alimentaire. Agro Montpellier, support pédagogique.

vendus en France (figure 3), et de ce fait elles ont un poids importants dans les choix et les orientations prises par la filière.

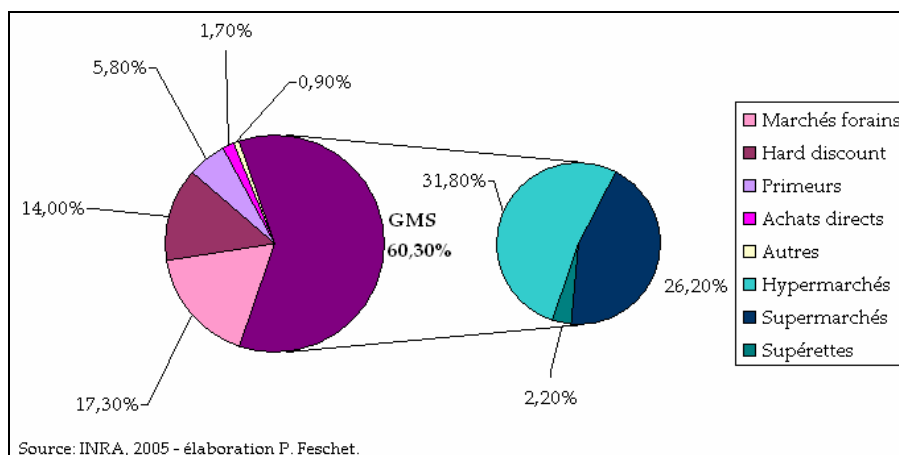


Figure 3: Répartition des ventes de F&L par circuits de distribution

Auparavant, les circuits de distribution se superposaient, mais aujourd'hui la course à la productivité -qui se traduit entre autre par le principe de concentration (économies d'échelle) et d'effet réseau (organisation de la logistique)- ne permet plus cette juxtaposition. Même si l'on constate un certain essoufflement, les hypermarchés, supermarchés, super-discounters et autres supérettes sont particulièrement bien adaptés à ce fonctionnement, d'où leur prédominance.

Face à la puissance de la grande distribution, aux pressions qu'elle exerce et aux évolutions de la filière, la production tente de faire contrepoids, grâce à un processus d'organisation économique -telles que l'intégration verticale, les unions d'Organisation de Producteurs, les partenariats entre producteurs et négociants, les organisations entre producteurs et expéditeurs-. En effet la mutualisation au sein d'une station de conditionnement permet de consolider et stabiliser les liens avec la grande distribution, en fournissant des quantités importantes de produits, de qualité homogène et différenciée. Malgré ces initiatives, la production reste encore trop dispersée. Et même, au-delà de l'organisation, c'est surtout la coordination entre les acteurs qui est importante. Mais compte tenu de la concurrence accrue, cette coordination n'est pas toujours évidente. Ainsi, les régions ne disposant pas d'organisations capables de répondre aux nouveaux enjeux de la filière, sont éliminées au profit des zones plus adaptées. Une nouvelle carte des productions semble se dessiner en Europe : certaines régions gagnent (Bretagne, Belgique, sud de l'Espagne avec Almeria, Huelva...), d'autres se battent (Emilie Romagne, Lérída, Aquitaine...), et quelque unes perdent (Roussillon, Provence...) (Montigaud, 2001).

Entre les producteurs et la grande distribution, les intermédiaires gardent une place significative au sein de la filière. L'expédition est le passage obligé entre la production et la commercialisation, elle constitue le premier acte de concentration de l'offre et la commercialisation. Cette étape est en générale assurée par les producteurs (OP) et les coopératives au sein des

« stations ». Les produits sont ensuite commercialisés soit auprès des grossistes, des centrales d'achat ou des marchés étrangers. Leur activité consiste à chercher, trouver et distribuer quotidiennement des produits frais, fragiles et complexes. L'organisation croissante en réseau marque la tendance forte de s'engager dans la voie de la traçabilité, de préservation des produits de conservation et d'hygiène optimale. A l'interface entre les stations de conditionnement et les centrales d'achats et/ou grossistes, le transport est au cœur du système.

2.2. L'organisation logistique comme clé de lecture de la filière

Avec le développement de la logistique, « science des flux quantitatifs et des informations qui les accompagnent, permettant de transférer un produit d'un point A à un point B au coût le plus bas (avec respect des cahiers de charges) et cela en vue de satisfaire les besoins du consommateur »³⁵, le secteur du transport connaît une révolution technique et organisationnelle, de par sa situation au cœur du système.

Selon Montigaud (2001), les résultats financiers d'un distributeur sont fonction du coût d'achat des marchandises à prix rendu magasin³⁶, des charges du point de vente et du résultat net dégagé. Ils peuvent être ainsi représentés sous une forme simplifiée telle que la présente l'équation suivante :

$$\text{prix de vente (100\%)} = \text{coût d'achat des marchandises à prix rendu magasin (\approx 82\%)} + \text{charges du point de ventes (16\%)} + \text{résultat net (2\%)}.$$

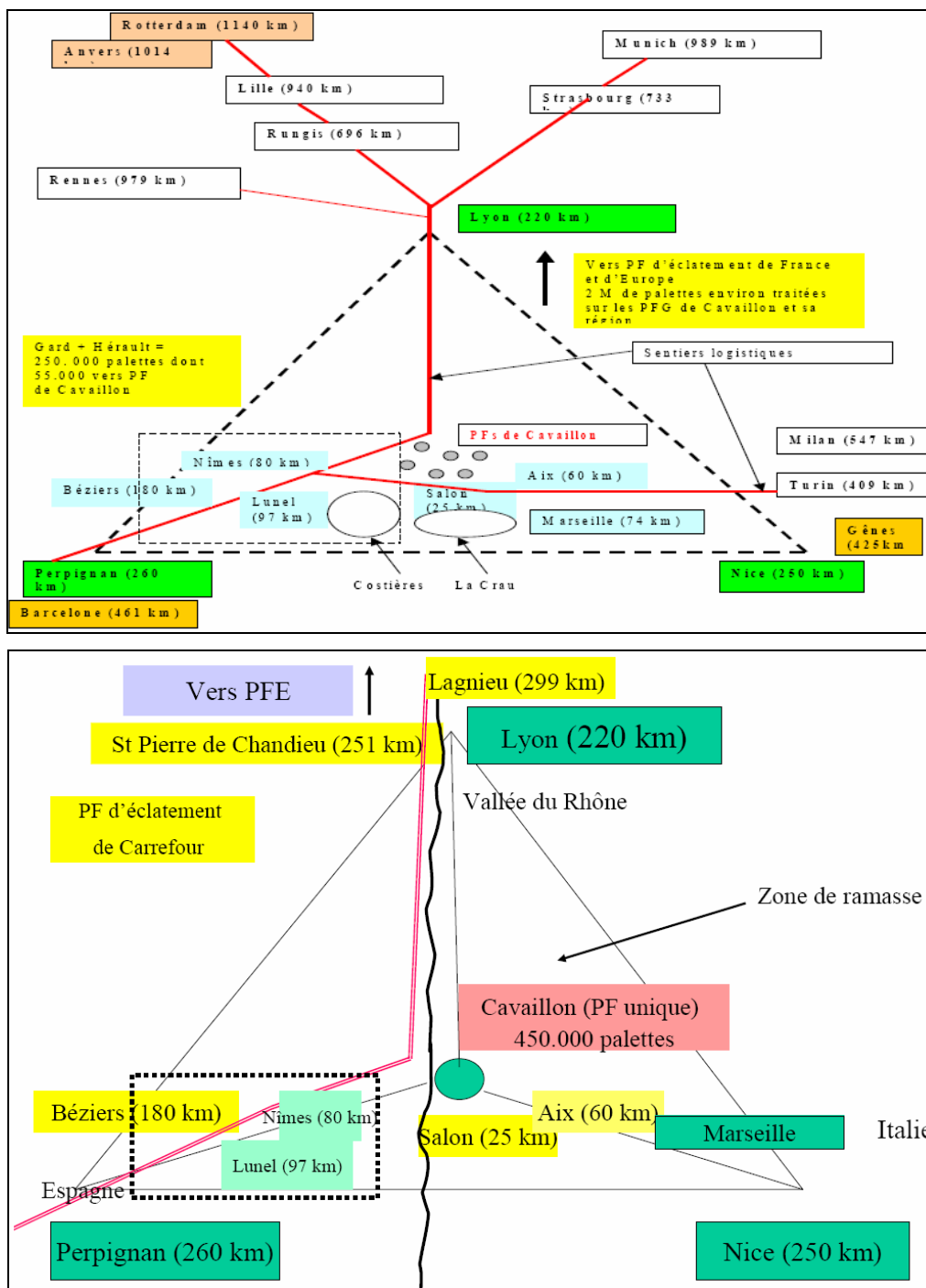
Dans le cas des fruits et légumes, le coût d'achat est inférieur à la moyenne précédente, avec un résultat net bien plus favorable (autour de 10%). Mais dans tous les cas, il est difficile d'augmenter le prix de vente et de diminuer les coûts du point de vente, la solution consiste donc à jouer sur la logistique du coût d'achat. Outre cette approche purement financière de domination par les coûts, un autre élément a conduit à s'intéresser de plus près à la fonction logistique : l'augmentation du prix des carburants, qui ne cessent de grever la facture des transporteurs.

Ainsi la tendance est à l'optimisation des schémas logistiques et des circuits de distribution. « Avant la zone de production et de consommation étaient reliées par un système complexe de circuits concurrents et complémentaires, où expéditeurs, grossistes, détaillants mais aussi entrepôts et magasins de la grande distribution assumaient chacun une fonction précise » (Montigaud, 2001). Mais la course aux gains de productivité et aux économies d'échelle, par le développement des principes de massification (camion rempli complètement) et de réseau (camion rempli à l'aller et au retour), a conduit les transporteurs français et européens à s'adapter, s'organiser, se structurer, notamment en mettant en place des réseaux et en développant des plateformes de tri unique.

³⁵ Montigaud J.C, 2006. L'organisation et l'évolution de la filière fruits et la logistique.

³⁶ Produit rendu magasin ou produit franco : ensemble des coûts permettant de faire transiter un produit, tout au long d'une filière, du point de départ (bord champ) au point d'arrivée. (Montigaud, 1999).

Le cas du Sud-Est de la France illustre particulièrement bien cette situation (figure 7). Jusqu'à présent, les différents maillons de la chaîne logistique (ramasse, tri, traction) étaient gérés par 7 transporteurs. Aujourd'hui, les 3 opérations sont scindées et confiées par appel d'offre aux prestataires.



Source : Montigaud J.C., (2006).

Figure 4: Schéma logistique du Sud de la France avant et après la mise en place de la PF de tri unique

Cette organisation logistique est reliée incontestablement à la répartition des flux européens de fruits et légumes (figure 5) et à la position stratégique que la France occupe au sein de ce système.

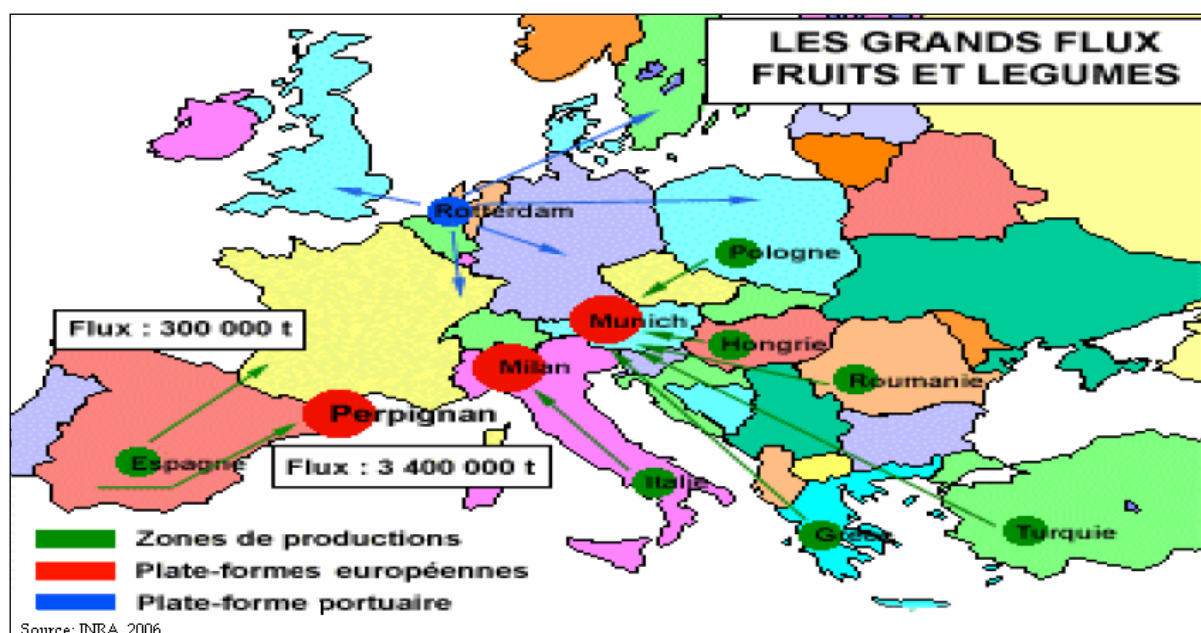


Figure 5: Les grands flux européens de fruits et légumes

D'une part, Perpignan (marché St Charles) est la principale porte d'entrée des produits en provenance de la péninsule ibérique et du Maghreb, et essentiellement d'Espagne et du Maroc. Avec un flux méditerranéen dominant de 4 000 000 tonnes et un flux Atlantique de 300 000 tonnes, la plateforme multimodale Saint-Charles International est le premier centre d'éclatement européen de fruits et légumes³⁷. D'autre part, considéré comme « le jardin potager » de la France, le Sud-est, plus particulièrement la Provence, est au cœur du système français. A l'embouchure du Rhône, cette zone est à l'intersection des flux Espagne/Sud-ouest et Italie/Sud-est. La Vallée du Rhône (Cavaillon-Lyon) est un axe routier majeur. A partir de Lyon, les routes logistiques se séparent : une première part en direction de Rungis puis Rotterdam (Europe du Nord), une seconde vers Munich et l'Europe de l'Est.

Au-delà de la réorganisation du système de transport, la logistique a également révolutionné le fonctionnement de la filière dans sa globalité, grâce à de nouveaux outils de gestion. C'est ainsi que sont apparus les notions de « flux tendu » et de « juste à temps » (commande jour A pour livraison sur PF éclatement jour B et mis en rayon jour C). Dans les systèmes traditionnels, les flux étaient « poussés » par l'offre, tandis que dans les nouveaux, les flux sont « tirés » par la demande (Montigaud, 2001). Cela est particulièrement intéressant dans le secteur des fruits et légumes qui se caractérise par l'extrême fragilité et périssabilité des produits. Ainsi, ce fonctionnement présente de nombreux avantages : absence de stocks et donc d'inventus, accroissement de la qualité, diminution du nombre de saisie, amélioration des services rendus par les fournisseurs... Mais en contrepartie, ce système laisse peu de marge de manœuvre et demande une grande rigueur et qualité dans les phases amont de la filière.

³⁷ Source : <http://www.saintcharlesinternational.fr/public/index.asp>

Ces éléments mettent en évidence les interactions fortes qu'il y a entre les acteurs de la filière et donc les interdépendances entre les phases de production, conditionnement et transport/distribution. Comprendre cette organisation est nécessaire dans tout travail qui tente d'appréhender la filière fruits et légumes, quelque soit l'axe d'approche (étude de coûts, environnementale...).

3. Proposition d'une méthode d'évaluation

3.1. Intérêt méthodologique et objectif

Les enjeux que représentent la problématique énergétique pour la filière fruits et légumes étant tels, et compte tenu du fait qu'il n'existe pas aujourd'hui une méthode qui soit réellement adaptée à cette filière et qui permette d'établir un diagnostic fiable, il est proposé dans ce travail de mettre en place et valider, par une étude de cas, un outil d'évaluation qui prenne en compte les spécificités de la filière. De cette façon il sera possible d'éviter les amalgames et le risque d'utiliser les données et référentiels existants pour fournir des informations stratégiques pouvant parvenir à des résultats erronés et validant ainsi certaines idées reçues.

Selon une lecture inter et intra filière, l'intérêt et la nécessité de ce travail apparaissent doubles. Le caractère spécifique de la filière -qui se caractérise par une extrême périssabilité des produits, une organisation à flux tendus et la haute valeur ajoutée de ces produits- la distingue de toutes les autres, en fait une filière à part, et exige une attention particulière. D'autre part, de par la grande diversité des origines de production, des systèmes et pratiques de culture, des modes de transport et organisations logistiques, la variété d'itinéraires techniques qui en résulte impose d'avoir une analyse approfondie et non pas d'avoir recours à une évaluation globale.

3.2. Cadrage méthodologique et hypothèses

3.2.1. Définition

L'approche méthodologique proposée a été élaborée à partir de la démarche ACV ou écobilan. Un écobilan énergétique consiste à évaluer la consommation de toutes les sources d'énergie utilisées dans le cadre de l'activité ou filière considérée. On distingue trois types d'énergie : l'énergie directe, l'énergie indirecte et l'énergie issue du capital. L'énergie directe représente les sources même d'énergie, qui peuvent être regroupées en quatre catégories : électricité, produits pétrolier et lubrifiants, gaz industriels et combustibles minéraux solides. L'énergie indirecte fait référence à l'énergie qui a été nécessaire pour pouvoir utiliser les intrants, c'est-à-dire entre la fourniture de ses matières premières à la mise à disposition de l'utilisateur. Cela désigne donc les fertilisants, les pesticides, les semences, etc. L'énergie contenue dans le capital est également indirecte, toutefois c'est un intrant différent puisqu'il est utilisé sur plusieurs cycles de production, ce qui implique l'amortissement de cette énergie sur la durée du cycle de vie du matériel ou du bâtiment considéré. Fortement corrélés à cette distinction, les coefficients énergétiques transcrivent les différents flux en unité énergétique. Ils expriment la quantité d'énergie nécessaire à la mise à disposition de tel ou tel matériel, produit ou matière première.

3.2.2. Unité de compte

Afin de comparer les consommations énergétiques, une unité commune était nécessaire : l'unité adoptée est le mégajoule. En effet de nombreux pays, y compris les pays membres de la Communauté Economique Européenne, utilisent un grand multiple du joule (GJ) comme unité de compte commune. Le Bureau de Statistique du secrétariat de l'ONU a également adopté le joule comme unité de compte pour les bilans énergétiques globaux qu'il publie. Par ailleurs, le joule est la seule unité de mesure de l'énergie reconnue par le Système International. Il a initialement été promulgué comme unité d'énergie du S.I en 1946, puis comme unité thermique du SI en 1948, par la conférence générale des poids et mesures.

Par ailleurs, le coût énergétique sera exprimé en MJ/tonne (de production), et non pas MJ/ha, comme c'est le cas dans de nombreuses méthodologies qui ont travaillé uniquement sur la phase production. Cela n'est pas possible dans notre cas pour deux raisons. D'une part l'unité de surface ne peut être transposable pour les autres phases considérées (conditionnement et transport). Et d'autre part, la surface n'est pas forcément révélatrice puisque selon les zones de production, pour une même surface, les rendements de production sont complètement différents.

3.2.3. Origine des données et matrice des coefficients

Les coefficients qui ont été retenus dans cette approche méthodologique sont tous issus de la littérature. Le choix a été fait en fonction de leur degré de complétude, de façon à intégrer, dans la mesure du possible, toutes les phases permettant la mise à disposition des éléments considérés, soit les phases de fabrication, conditionnement et acheminement. Ces coefficients sont exprimés en MJ/unité propre. Leur source bibliographique est précisée dans la matrice³⁸.

3.2.4. Frontières du système étudié

L'intérêt de considérer la filière dans son ensemble ayant été plusieurs fois précisé, il est proposé de prendre en compte la filière de la production à la distribution, en intégrant la phase de conditionnement. L'objectif de ce travail étant d'identifier, à travers la mise en évidence des spécificités de la filière fruits et légumes, les variables clés nécessaire d'intégrer dans le cadre d'une évaluation multicritère, nous avons considéré dans chacune de ces phases, un certain nombre d'éléments qui diffèrent selon les zones de production et influencent donc le bilan énergétique d'une part mais l'ensemble des impacts environnementaux d'autre part. Le schéma ci-dessous illustre les frontières du système alors considéré.

³⁸ Voir Annexe 1 : Matrice des coefficients énergétiques **Annexe 1 :**

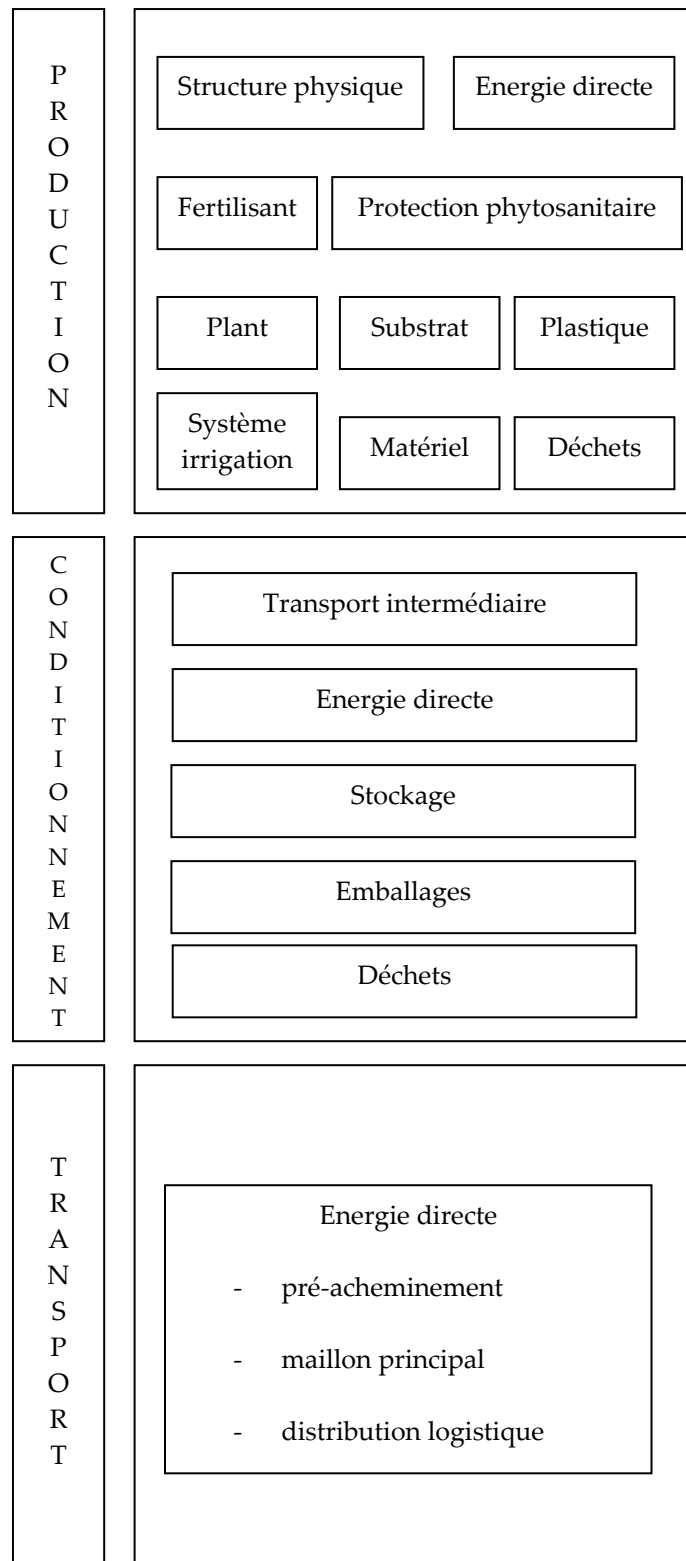


Figure 6: Frontières du système considéré

3.2.4.1. La phase de production

La phase de production est certainement celle qui est la plus différenciée et variable. Selon la localisation de la zone de production, on considère que dix éléments peuvent avoir un impact sur le bilan énergétique (et environnemental), chacun d'entre eux étant interdépendants, et bien évidemment fonction des caractéristiques du territoire (environnement naturel et socio-économique).

Ainsi, une production horticole peut être conduite soit en plein champ, sous abri froid (tunnel plastique, serre type canarienne métallique ou bois), ou sous serre chauffée (infrastructure lourde, en verre). Outre le coût financier, la durée de vie et le coût énergétique de chacune de ces structures sont également différentes, compte tenu de la variété des matériaux utilisés. Par ailleurs, selon la zone, la culture peut être spécialisée ou diversifiée (rotations), et le récolte peut s'étendre sur quelques mois à pratiquement 1 an, auxquels cas il faut répartir le coût énergétique de la structure au prorata de ces éléments.

Fortement corrélé au type de structure utilisée, elle-même fonction des conditions pédo-climatiques de la zone, la consommation directe d'énergie va varier, selon que la culture est chauffée ou non, et si elle est équipée de systèmes automatisés de gestion du climat et des paramètres de production (ventilation, déshumidification, enrichissement en CO₂, fertigation).

En fonction du niveau de technologie en place (structures et compétences), les consommations de fertilisants et de produits phytosanitaires sont différentes. Par exemple, dans une serre verre de haute technologie, la fertilisation est directement ajustée aux besoins réels des plantes grâce aux capteurs incorporés qui renseignent sur la teneur en éléments nutritifs. Par ailleurs, ces structures étant des lieux relativement fermés, elles permettent de mieux gérer les attaques virales et protéger les cultures, d'où des besoins de fertilisation et de pesticides plus faibles.

Toutes les méthodologies existantes prennent en compte le coût énergétique des plants, et cela s'avère en effet intéressant compte tenu du fait que d'une part, la densité de plantation diffère selon les zones et les pratiques culturales (conventionnelle ou biologique). Et d'autre part, en fonction de cette densité de plantation et de la variété du plant, en résulte le rendement de production (kg/m²).

Une culture peut être conduite en plein champ ou sous abri, elle peut être biologique ou conventionnelle, mais elle peut être également plantée en sol ou bien hors-sol. Dans ce cas, il faut tenir compte de l'utilisation de substrat, d'une part par rapport à son coût énergétique de fabrication, mais surtout par rapport aux déchets que cela génère.

Le septième élément qui doit être pris en compte est l'utilisation de plastique. Les matières plastiques proviennent des recouvrements des serres, des couvre-planter dans les serres verre et du paillage dans les autres structures (abri froid et plein champ), et enfin des sacs de substrat et autres

emballages de produits. Ces deux derniers éléments sont importants dans la prise en compte de la gestion des déchets.

Compte tenu des problèmes de sécheresse et de tarissement des nappes phréatiques, l'optimisation des systèmes d'irrigation est devenue un véritable enjeu, et ce quelque soit la zone. Ainsi l'irrigation localisée (goutte-à-goutte) s'est largement généralisée dans le cadre des cultures maraîchères. Mais pour d'autres cultures agricoles, il existe d'autres systèmes d'irrigation (à la raie ou par aspersion), nous n'en tiendrons pas compte dans ce travail. Comme nous le disions, le goutte-à-goutte est à peu près la règle, mais encore une fois, le niveau de technologie des systèmes peut être différent selon la zone : dans le Sud les exploitations sont équipées de tuyaux posés au sol avec des goutteurs à chaque plant, les serres verre françaises sont également équipées de goutteurs à chaque plants mais également de gouttières récupérant les eaux de drainage, enfin les serres les plus sophistiquées (Pays-Bas notamment) fonctionnent en circuit fermé et recycle l'eau de fertigation.

Le matériel est un autre élément qui doit être pris en compte dans ce type d'analyse est : de nouveau le niveau de technologie a une influence sur la conduite de la culture qui peut être plus ou moins mécanisée, et le matériel peut être plus ou moins sophistiqué. Par ailleurs, une culture en plein champ nécessitera plus de matériel qu'une culture sous abri, compte tenu des contraintes imposées par l'abri (hauteur, espace de circulation, etc.).

Enfin, les déchets, et plus particulièrement leur traitement, constituent les derniers éléments à considérer. Nous reviendrons sur cet aspect en fin de paragraphe.

3.2.4.2. La phase de conditionnement

La phase de conditionnement peut certes, sembler relativement semblable d'une zone à l'autre, notamment pour ce qui concerne les étapes et la chaîne de conditionnement, mais tout de même, certains éléments peuvent différer. Comme le montre le schéma précédent, le transport entre l'exploitation et la station de conditionnement (ramasse ou approvisionnement) est intégré à cette phase. Selon l'étendue de la zone de production, l'éloignement des fermes et le mode d'approvisionnement (tracteurs, camion 19 tonnes PTAC, etc.) peut sensiblement varier. Il est donc intéressant de prendre en compte l'énergie primaire nécessaire pour ce transport.

L'énergie primaire consommée au sein de la station/coopérative est également évaluée. Même si comme nous l'avons dit, les étapes sont semblables et donc les consommations énergétiques (électricité, gasoil et lubrifiants) aussi, un élément en particulier a une importance majeure : le stockage en chambre réfrigérée. Aujourd'hui, il n'est pas évident de distinguer la consommation imputée à la chaîne de celle des chambres froides. D'une part il n'y a pas de compteur séparé, d'autre part selon les produits, les temps et températures de stockage présentent une grande variabilité, tout

comme les infrastructures en place qui, selon la surface et la technologie en place, ont des consommations énergétiques très différentes. Aussi nous tenterons de différencier la part imputée à la chaîne de conditionnement et au stockage. Si cette distinction n'est pas possible empiriquement, nous proposons d'utiliser la valeur générique de 1,3kWh/tonne/jour (Labouze E. *et al.*, 2005)³⁹.

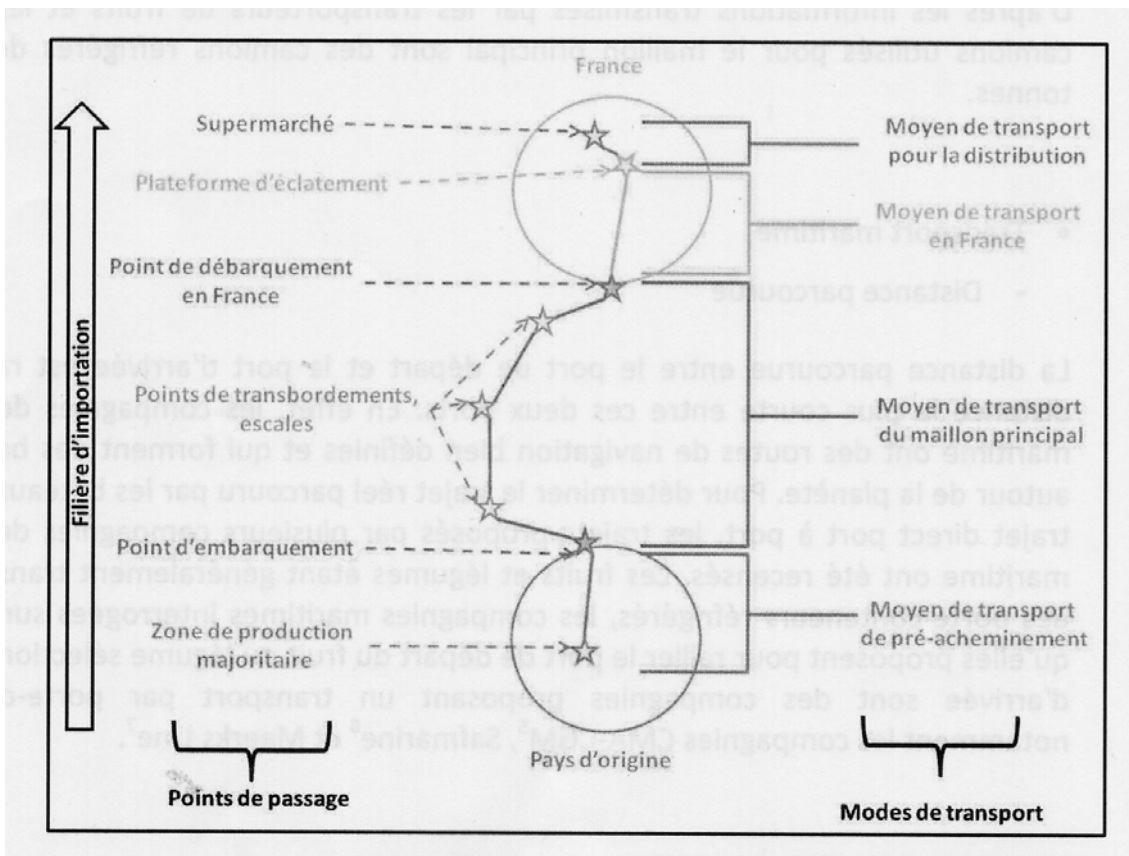
Enfin le dernier élément à prendre en compte dans cette phase est le conditionnement en soi (les emballages). Le type d'emballage peut varier (carton brut, avec alvéoles, barquette, filet, etc.), et avec lui la contenance et donc le nombre de colis par palette. Par ailleurs, selon les produits et les zones d'approvisionnement, les produits sont conditionnés plusieurs fois, ou tout du moins les colis sont réorganisés, ce qui multiplie le volume de déchets notamment.

Tout comme pour la phase de production, le coût énergétique des déchets a une importance, il sera abordé à la fin de ce paragraphe.

3.2.4.3. La phase de transport

La dernière étape de la filière qui est considérée ici est celle du transport. Cette phase fait d'ailleurs l'objet de grandes interrogations, notamment dans le cadre des produits et filières d'importation. Le transport de marchandises s'est fortement accru depuis une vingtaine d'année. Il représente 66% de la consommation de produits pétroliers à usage énergétique en France, et plus précisément, le transport routier consomme à lui seul 80% de cette consommation (ADEME, 2002). Quelque soit l'origine du produit (national ou importation), il est doit être transporté du producteur au consommateur, mais selon l'éloignement entre la zone de production et la zone de consommation, l'impact est différent. Mais comme nous l'avons souligné précédemment, la logistique révolutionne l'organisation de la filière, et tend à optimiser ces étapes de transport. Nous avons distingués trois sous-étapes telles que illustrées ci-dessous.

³⁹ Labouze E., (2007). Etude de l'impact environnemental du transport des fruits et légumes frais importés et consommés en France métropolitaine- Rapport final, Bio Intelligence Service-Ademe.



Source : Bio Intelligence Service, 2007.

Figure 7: Points de passage de la chaîne logistique

Le pré-acheminement est le transport entre la station de conditionnement/coopérative et le point d'embarquement (centre de la zone de production considérée). Le transport principal se répartit entre le maillon principal et la distribution en France.

Le transport des fruits et légumes est particulier dans le sens où il est en grande partie réfrigéré. Que ce soit pour les bateaux ou les camions, l'alimentation en énergie pour la réfrigération se fait le plus souvent par un moteur spécifique, différent du moteur servant à la traction ou la propulsion. Ainsi, il est proposé d'évaluer la consommation d'énergie primaire (carburant et lubrifiant), en considérant à la fois l'énergie nécessaire à la traction/propulsion du moyen de transport utilisé, ainsi que celle nécessaire à la réfrigération, et éventuellement les consommations supplémentaires (notamment dans le cas du transport maritime qui a des besoins spécifiques pour le fonctionnement interne du bateau).

3.2.4.4. Le traitement des déchets

Les productions horticoles produisent une grande quantité de déchets. Les trois principales composantes sont les débris végétaux, les substrats de culture et les matières plastiques. Pour ce qui concerne la première catégorie, la pratique consiste à composter ces débris. Toutefois certains items

tels que les ficelles de support, les clips, demi-lune et autres étiquettes doivent faire l'objet d'un traitement séparé. Les substrats peuvent être organiques ou inorganiques. La tourbe issue de la culture en sacs de tourbe peut être réutilisée en tant que paillis ou ingrédient d'empotage (épandage ou incorporation dans des terreaux). Les substrats inorganiques (e.g : laine de roche) ne se décomposent pas et nécessitent un traitement particulier. Dans certains pays ils sont enfouis, mais par exemple en France, depuis le 1^{er} juillet 2002, ils doivent être recyclés. Or il n'existe pas toujours de système organisé et systématique de recyclage pour ce type de substrat, sachant qu'un hectare de culture rejette près de 5 tonnes de laine de roche (125 m³). Les déchets plastiques agricoles sont constitués des films souillés utilisés pour la protection des cultures (serres, tunnels), des couvre-planter (hors-sol) et des paillages (en sol), des tuyaux utilisés pour le drainage et l'irrigation, des bidons de produits fertilisants, lessiviels, et phytosanitaires, ainsi que des sacs de substrats. Selon les zones, ces déchets peuvent être enfouis (interdit en France puisqu'ils ne sont pas considérés comme des *déchets ultimes*), accumulés pour un recyclage futur ou brûlés à l'air libre.

Il existe bien évidemment d'autres déchets tels que les engrais ou produits phytosanitaires non utilisés, toutefois une étude a jugé non significative la production des premiers d'entre eux et non quantifiable celle des seconds⁴⁰. Les emballages des produits phytosanitaires (bidons plastiques et autres emballages papier, carton, plastique en contact avec les produits phytosanitaires) sont assimilés à des déchets dangereux et nécessitent une collecte et élimination spécifiques, tout comme les emballages d'engrais, mais leur évaluation est très approximative.

Dans le cadre de la phase de conditionnement, les principaux déchets sont végétaux (écarts de production), en carton (emballage, cornières, intercalaires) , plastique (barquette, filet, film étirable, feuillard, etc.) et bois (palettes).

Le traitement de fin de vie de tous ces éléments a bien évidemment un coût économique, énergétique et environnemental, mais compte tenu de la complexité que représente cette étape, du manque général de données, il n'a pu être pris en compte dans cette étude. Nous rappelons toutefois, qu'une ultime catégorie prenant en compte les pneus usagés, les véhicules et autres composants de machines et équipements hors d'usage, peut faire l'objet d'une évaluation énergétique de fin de vie, puisque celle-ci est intégrée aux coefficients énergétiques existants de ces éléments en question.

C'est donc la combinaison complexe de l'ensemble de ces paramètres qui détermine le bilan énergétique de la filière fruits et légumes. Après avoir présenté ces éléments à prendre en compte, la partie suivante expose plus précisément la méthode d'évaluation du coût énergétique de ces éléments.

⁴⁰ Pauwels P., *et al.*, (2005). Les déchets de l'agriculture – Essais de quantification. Ifen-Scees, notes de méthode n°15.

3.3. Contenu de la grille

3.3.1. La phase de production

La phase de production mobilise trois types d'énergie : des énergies directes, indirectes et induites par le capital, les trois composantes du bilan énergétique mis en évidence dans la revue de littérature.

De manière intuitive, l'énergie directe représente les énergies primaires ou mix énergétique⁴¹, qui peuvent être regroupées en quatre catégories : électricité, produits pétroliers et lubrifiants, gaz industriels et combustibles minéraux solides. L'énergie indirecte fait référence à l'énergie qui a été nécessaire pour pouvoir utiliser les intrants à usage unique ou renouveler régulièrement (fertilisants, produits phytosanitaires, plants, plastique, etc.), de leur fabrication à leur mise à disposition auprès des utilisateurs. L'énergie contenue dans le capital est également indirecte, étant utilisé sur plusieurs cycle de production et amorti sur plusieurs années, ce coût doit être réparti sur la durée de vie et/ou d'utilisation du matériel ou du bâtiment considéré.

Pour chacune des ces énergies nous allons préciser la méthode d'évaluation.

3.3.1.1. Les consommations directes d'énergie

L'évaluation des consommations directes d'énergie, peut se faire soit par une méthode empirique soit de façon théorique, en fonction des données disponibles (utilisation de données génériques ou spécifiques). En effet, si les données de consommation sont accessibles directement auprès des acteurs, il est possible d'avoir les consommations réelles moyennes, différenciées selon le type d'énergie (gasoil, fioul lourd, sans plomb, électricité...), soit par hectare soit par tonne, par le biais du coefficient de surface agricole utile (SAU) ou du rendement (tonnes/ha).

Sachant qu'il peut être intéressant à l'intérieur de cette phase d'observer quels sont les points critiques, et que bien souvent les producteurs ne sont pas en mesure de répartir la consommation en énergie selon les tâches, il est possible d'évaluer ces consommations (en litres, en kWh ou en tonnes) à partir d'un itinéraire technique moyen, du matériel utilisé pour chaque tâche, du temps des tâches ou de la surface travaillée (d'après le nombre de passage). En appliquant le rendement de production (tonnes/ha), et le coefficient énergétique de l'énergie utilisée (MJ/litre, MJ/kWh ou MJ/tonne), on obtient le coût énergétique de chacune des tâches, par tonne de production. Le tableau suivant reprend les principales sources d'énergie et leur coefficient énergétique.

⁴¹ Le mix énergétique, ou bouquet énergétique, est la proportion des différentes sources utilisées par une entreprise ou toute autre structure.

Extraction, raffinage, transport, distribution et entretien des réseaux	Coefficient énergétique	Unité	Source
électricité	9,6	MJ/MWh	Combes, 98
gazole routier	40,7	MJ/litre	Combes, 98
essence	41,5	MJ/litre	FHL
fioul domestique	40,7	MJ/litre	Combes, 98
fioul lourd	47,8	MJ/litre	CIGR
lubrifiant	45,2	MJ/litre	IFP
gaz naturel	33,8	MJ/MWh	Combes, 98
propane/butane	50,8	MJ/kg	ITCF
houille	32,6	MJ/tonne	CIGR

Tableau 1: Coefficients énergétiques des énergies directes

3.3.1.2. Les consommations indirectes d'énergie

Les engrais sont réputés pour être de gros consommateurs d'énergie dans leur cycle de production. Les trois éléments nutritifs basiques sont l'azote, le phosphore et la potasse. La chimie intervient surtout dans la production d'engrais azoté, qui est issu de l'ammonium, qui lui-même réagit avec le dioxyde de carbone pour produire l'urée. Ce procédé nécessite un apport important d'énergie, fournie par le gaz naturel. Le phosphore est lui issu du rock phosphate, et la potasse du chlorure de potassium. La chimie intervient également pour la fabrication des engrais composés (qui contiennent deux ou trois éléments nutritifs : NP, PK et NPK). Ces éléments nutritifs ne sont pas distribués sous forme pure, mais ils sont associés à d'autres éléments (soufre, magnésium, calcium, etc.). Ainsi pour évaluer le coût énergétique de la fertilisation minérale, il a été pris en compte la consommation d'unités fertilisantes (U.F) en $\text{kg}_{\text{U.F}}/\text{ha}$ (normalisé par le rendement de production en tonnes/ha), pour chacun des trois éléments nutritifs précédemment évoqués, sous les formes N, P_2O_5 et K_2O , le volume global d'engrais n'est pas significatif. Les coefficients énergétiques (MJ/tonne) utilisés prennent en compte l'extraction minière, la formulation, le conditionnement, le transport et la distribution (Planète, 2002). ($\text{N} = 52,62\text{MJ}/\text{kg}_{\text{U.F}}$; $\text{P}_2\text{O}_5 = 15,55\text{MJ}/\text{kg}_{\text{U.F}}$; $\text{K}_2\text{O} = 12,1\text{MJ}/\text{kg}_{\text{U.F}}$).

Les produits phytosanitaires sont classés en trois catégories : les insecticides, les fongicides, et les herbicides. Au-delà de leur coût énergétique, c'est surtout leur impact environnemental qui est déterminant et important. Comme pour les fertilisants, ces produits ne sont pas commercialisés sous forme pure. Aussi, le coût énergétique du contrôle phytosanitaire (en MJ/tonne) est évalué à partir des unités de matières actives (A.I) consommées selon la dose appliquée ($\text{kg}_{\text{A.I}}/\text{ha}$) et du rendement (tonnes/ha). (herbicides = $238\text{MJ}/\text{kg}_{\text{A.I}}$; insecticides = $199\text{MJ}/\text{kg}_{\text{A.I}}$; fongicides = $92\text{MJ}/\text{kg}_{\text{A.I}}$).

Pour déterminer la part du coût énergétique total de la production imputée au plant, il faut diviser la densité de plantation (plants/ha) par le rendement de production (tonnes/ha), de façon à

obtenir le nombre de plants nécessaires pour une tonne de production, auquel on peut appliquer le coefficient énergétique d'un plant (0,28MJ/unité⁴²).

Dans le cadre de la production hors-sol, les pieds sont plantés dans des pains de substrat, qui peut être synthétique (laine de roche) ou organique (fibre de coco). Selon la culture, la quantité de substrat par plant diffère (litres/plant). Le coefficient énergétique de ces substrats est exprimé en MJ/litres ou en M/kg. Le coût énergétique imputé à la consommation de substrat se calcule à partir de la densité de plantation (plants/m²), du coefficient énergétique (litres/plant) et du rendement (kg/m²) (laine de roche = 1,18MJ/litre).

Dans les filières fruitières et maraîchères, le plastique représente un poste de consommation important. Il est utilisé à la fois pour le paillage (localisé ou généralisé) et la solarisation des cultures. A l'origine le paillage était organique (foin, paille, sciure, copeaux de bois, compost...), mais il a progressivement été remplacé par un film plastique noir ou transparent en polyéthylène (PE), plus ou moins épais (entre 10 et 30µ). Surtout réalisées dans le Sud de la France, la solarisation est une technique de désinfection du sol. Elle est efficace sur de nombreux champignons du sol et préserve la microflore utile du sol. L'efficacité de cette pratique dépend de la durée, de l'humidité et du taux de progression des hausses de températures. Elle est utilisée en fin de saison, lors de la rotation de cultures. Le type de bâche utilisée est un plastique épais et noir. Quelque soit l'usage, le plastique dure le temps d'une culture, souillé et pouvant être source de maladie, il est enlevé à la fin de chaque cycle, d'où la problématique du traitement de fin de vie et du recyclage. Le coût énergétique de la consommation de plastique par un système de production dépend du poids consommé (en kg ou tonnes/ha), normalisé par le rendement (tonne ou kg/ha), ou de la surface couverte par hectare de production, de l'épaisseur (µ) (cas du paillage), du poids unitaire (en kg/ha). Comme nous l'avons dit, le plastique utilisé est du polyéthylène, dont le coefficient énergétique est de 103MJ/kg⁴³.

3.3.1.3. Les consommations induites par le capital

Dans les activités horticoles, il y a quatre postes de consommation énergétique induite par le capital : les matériel/outils, les bâtiments/serres, le système d'irrigation et dans le cas de culture chauffée, le système de chauffage. Les consommations induites sont fonction des matériaux des éléments considérés, de leur poids et leur durée de vie. Par ailleurs, selon les zones, la durée du cycle de production varie, il peut avoir une succession de productions (d'un même produit ou d'une culture différente), auquel cas il faut tenir compte de cette quote-part d'utilisation.

⁴² Canakci M., *et al.*, (2006). Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy*, n°31, pp.1243-1256.

⁴³ <http://www.victoria.ac.nz/cbpr/documents/pdfs/ee-coefficients.pdf>

Pour ce qui est du matériel et des outils, la méthode Planète d'analyse énergétique des exploitations agricoles, propose les coefficients suivants :

	équivalent énergétique dû à la production des matériaux (MJ/kg)	équivalent énergétique dû à la fabrication (MJ/kg)	équivalent énergétique dû aux réparations (MJ/kg)	équivalent énergétique dû au transport (MJ/kg)	Somme (MJ/kg)
type Ia: tracteurs 4 roues motrices	49,2	14,6	19,3	8,8	91,9
type Ib: tracteurs 2 roues motrices	49,2	14,6	23,1	8,8	95,7
type Ic: machines automotrices	50,1	12,9	11,7	8,8	83,5
type 2: machines de travail du sol	62,8	8,6	19	8,8	99,2
type 3: autres machines	62,8	7,4	16,4	8,8	95,4

Source: (Planète citant Lambert, 1996)

Tableau 2: Coefficients énergétiques pour le matériel agricole

A partir des données proposées par Skiredj (2007) et Canakci (2006), concernant respectivement les serres plastiques métalliques et les serres verre, nous avons évalué les coefficients énergétiques de ces deux structures de la façon suivante :

serre bois (source: Skiredj A., LAV Agadir)	poids (kg) (pour 10000m ²)	coefficient énergétique (MJ/kg)	durée de vie (années)	coût énergétique MJ/ha.an
bois	40 000	12,00	15	32 000,00
fil de fer	10 000	27,73	20	13 865,00
plastique couverture (200µm)	3 500	103,00	3	120 166,67
filet insect proof (PE, 20x10, 100g/m ²)	560	103,00	3	19 226,67
TOTAL				185 258,33
serre métallique (source: Skiredj A., LAV Agadir)	poids (kg) (pour 10000m ²)	coefficient énergétique (MJ/kg)	durée de vie (années)	coût énergétique MJ/ha.an
acier	23 000	32,00	20	36 800,00
fil de fer	3 000	27,73	20	4 159,50
plastique de couverture (PE) (200µm)	2 500	103,00	3	85 833,33
filet insect proof (PE, 20x10, 100g/m ²)	560	103,00	3	19 226,67
TOTAL				146 019,50
serre verre (source: d'après Canakci, 2006)	poids (kg) (pour 1008m ²)	coefficient énergétique (MJ/kg)	durée de vie (années)	coût énergétique MJ/ha.an
acier	9 000	32,00	20	142 857,14
verre	10 865	12,70	20	68 445,19
ciment	1 000	7,79	20	3 864,09
sable	42 000	0,08	20	1 666,67
TOTAL				216 833,09

Tableau 3: Coût énergétique de différentes structures de production

Bien évidemment, ces coefficients ne sont pas exhaustifs, mais ils méritent d'offrir un premier aperçu sur la différence entre structure verre, structure métallique et structure bois, tout en tenant compte de leur durée de vie. Ce coefficient doit être ensuite rapporté au rendement de production et à la durée d'utilisation de la serre par an si celle-ci n'est pas spécialisée et accueille plusieurs cultures.

Wells (2001) propose de distinguer le système d'irrigation à la raie (25GJ/ha), l'aspersion par pivot central (12,5GJ/ha) et l'irrigation localisée (13,5GJ/ha). Toutefois, dans le cadre des productions maraîchères, ces systèmes d'irrigation ne sont pas tout à fait adaptés. En effet, les eaux de fertigation sont soit absorbées par le sol, soit drainées dans des gouttières, et aujourd'hui le fonctionnement en circuit fermé consiste à recycler les solutions nutritives. Ainsi les systèmes de fertigation sont différents selon le niveau de technologie en place. Antón (2004) a tenté de proposer une évaluation du coût énergétique du matériel selon les différents systèmes, mais elle nous semble incomplète.

Ainsi, compte-tenu des informations disponibles, il n'est pas possible, dans ce travail, de proposer une évaluation des coûts énergétiques imputés aux autres éléments du capital (système d'irrigation et de chauffage).

3.3.2. La phase de conditionnement

Comme nous l'avons vu, dans le cadre de la phase de conditionnement, il est proposé d'évaluer le coût énergétique de 4 éléments : celui imputé au transport intermédiaire entre l'exploitation et la station/coopérative ; le second est lié à la consommation d'énergie directe (électricité et gasoil) par la station, le troisième est attribué au stockage en chambre froide des produits, et le dernier est celui des emballages.

Pour ce qui est du premier élément, nous nous référerons à la méthode indiquée ultérieurement, dans le paragraphe relatif au transport⁴⁴. Toutefois, il est d'ores et déjà important de signaler que pour évaluer le coût énergétique de la phase d'approvisionnement des stations de conditionnement, il faudra prendre en compte l'aller et le retour du voyage, qui lui se fait à vide.

Pour ce qui est de la consommation d'énergie primaire⁴⁵, elle est essentiellement électrique (due au fonctionnement de la chaîne, au chargement des chariots élévateurs et à la production de froid). La consommation en gasoil est elle, impliquée par l'utilisation de chaudières (étapes de séchage) et de certains matériels fonctionnant avec du combustible. Comme nous l'avons précisé dans la partie précédente, il est difficile de répartir cette consommation énergétique selon les types de produits conditionnés dans la station, une consommation unitaire moyenne sera donc évaluée, en fonction du volume de production conditionnée par la structure. Afin d'avoir une plus grande

⁴⁴ Voir 3.3.3 La phase de transport

⁴⁵ Voir coefficients énergétiques partie 3.3.1.1 *Les consommations directes d'énergie*

représentativité, il est préférable d'avoir des données issues de stations/coopératives étant relativement spécialisées, de façon à avoir une consommation unitaire (kWh et litres/tonne de produit) significative.

Compte tenu du fait qu'il existe peu de travaux et données concernant les emballages (à notre connaissance, il existe seulement 4 études à ce jour relatif à ce sujet⁴⁶), seules les informations relatives aux plateaux cartons ondulés et les caisses en plastique sont adaptées à cette étude et seront utilisées. Il serait délicat d'évaluer le coût énergétique des autres matériaux de conditionnement à partir du coût énergétique de leur composant principal, sachant qu'une réflexion est en place au niveau national dans le cadre du Grenelle de l'Environnement et de l'affichage environnemental des produits de grande consommation, qui devrait aboutir à des résultats plus tangibles et significatifs. Ainsi à partir de l'étude de l'Ademe (2000), on a pu évaluer le coût énergétique d'un plateau carton à 13,33MJ/unité⁴⁷, valeur que l'on retiendra dans le cadre de cette étude. Même si ce coefficient est le même pour toutes les zones, et ne permet pas de faire de comparaison entre les filières, il présente l'intérêt de pouvoir analyser le coût énergétique global de la phase de conditionnement et de comparer l'importance relative de l'emballage par rapport aux autres éléments pris en compte.

3.3.3. La phase de transport

Comme cela l'a été précisé précédemment, on distingue trois niveaux de transport (pré-acheminement, maillon principal, distribution en France), et selon le niveau et les zones de production, les moyens de transport utilisés peuvent être différents.

Ainsi pour le pré-acheminement, nous avons fait l'hypothèse qu'il était effectué avec un camion de PTAC⁴⁸ 19 tonnes, seul l'éloignement et donc l'étendue de la zone de production fera varier les résultats. Au niveau du transport principal, plusieurs éléments entrent en jeu : en effet, selon le moyen de transport utilisé (routier, maritime, aérien, ferroulage), sa capacité de chargement (tonnes) et la distance parcourue (km), la consommation d'énergie en MJ/tonne.km est différente. Dans le cas du transport routier, on prendra en considération les ensembles articulés frigorifiques de PTAC 40 tonnes (plus communément appelés « semi-remorque »), d'une capacité de 26 palettes de 1m x 1,20m; pour le transport maritime de fruits et légumes, on considère deux types de navires : les porte-conteneurs (reefers), et les navires rouliers Ro-Ro (pour roll-on, roll-off) sur lesquels on embarque

⁴⁶ ACV des caisses en bois, carton ondulé et plastique pour pommes (2000), ACV des sacs de caisses, en plastique, papier et matériau biodégradable (2004), ACV des emballages pour le lait et les jus de fruits en conservation à température ambiante (2008), ACV d'un emballage en Polystyrène Expandé (2002).

⁴⁷ Ce coefficient a été calculé à partir des consommations en énergie non renouvelables à la fois pour la grande distribution et les autres circuits de distribution, tout en tenant compte de la répartition entre ces deux types de marché.

⁴⁸ Poids Total Autorisé en Charge

directement les remorques des camions ou même les camions ; enfin, pour le transport aérien, on distingue les vols court-courriers (< à 100km), moyen-courriers (entre 1000 et 4000 km) et long-courriers (>4000km), même si le transport de fruits et légumes n'est pas la raison première du vol. Il est important d'insister sur les distances parcourues, qui ne sont pas forcément les plus courtes entre le point de départ et d'arrivée. On peut calculer les distances relatives à ces deux modes de transport, respectivement à partir des données des sites <http://www.e-ships.net/dist.htm> et <http://www.landings.com/landings/pages/search/re-calc.htm>.

Comme nous l'avons dit, le transport des fruits et légumes est particulier puisqu'il nécessite une réfrigération. Pour le transport routier, la consommation d'énergie (diesel) est donc double : celle imputée à la traction et celle due à la réfrigération. La première est fonction de la classe de PTAC, du volume transporté (charge utile* taux de chargement), du taux de transport à vide, des consommations à vide et en pleine charge (en litres/100km), et des distances parcourues (tonnes/km). La seconde est fonction de la consommation horaire pour la réfrigération, de la vitesse, de la charge utile et du taux de chargement. Ainsi on a une consommation totale qui peut s'exprimer ainsi :

$$C_{\text{tonne.km}} = \frac{C_{\text{vide}} + (C_{\text{plein}} - C_{\text{vide}}) * \tau_{\text{chargement}} + \tau_{\text{vide}} C_{\text{vide}}}{100 * \tau_{\text{chargement}} CU} + \frac{C_{\text{horaire}}^{\text{réfrigération}}}{v * CU * \tau_{\text{chargement}}} \quad 49$$

(Avec CU : charge utile et $\tau_{\text{remplissage}}$: le taux de remplissage d'un evp⁵⁰ en tonnes)

La consommation directe d'énergie d'un navire est composée de trois éléments : le fioul lourd nécessaire à la propulsion, le gasoil nécessaire à la réfrigération et enfin l'énergie nécessaire au fonctionnement interne du bateau. On calcule la consommation totale d'énergie primaire en tenant compte de la capacité de chargement du navire, du volume transporté (contenance evp*taux de remplissage), de la vitesse, de la consommation horaire pour la réfrigération, de la consommation de diesel pour fournir les kWh qui en découle, et enfin de la consommation des moteurs secondaires.

$$C_{\text{tonne.km}} = \frac{a * CE + b}{24 * v * CE * \tau_{\text{remplissage}}} + \frac{C_{\text{kWh}}^{\text{diesel}} * C_{\text{horaire}}^{\text{réfrigération}}}{v * \tau_{\text{remplissage}}} + \frac{C_{\text{journalières}}^{\text{autres}}}{24 * v * CE * \tau_{\text{remplissage}}} \quad 51$$

(Avec a=0,029 et b=3,023 ; CE=capacité d'emport d'un porte-conteneur en evp, $\tau_{\text{remplissage}}$: le taux de remplissage d'un evp en tonnes)

Contrairement aux deux précédents modes de transport, le fret aérien de fruits et légumes n'est pas réfrigéré. La consommation d'énergie primaire d'un avion est fonction de la distance à parcourir (km), du chargement en carburant, de la part du fret par rapport aux passagers (en volume).

⁴⁹ Labouze E., et al., (2007). Idem

⁵⁰ Equivalent Vingt Pieds : unité de mesure d'un conteneur, sachant qu'un EVP = 13palettes.

⁵¹ Labouze E., et al., (2007). Idem.

On applique une majoration de 20%, pour tenir compte des distances réelles, qui sont généralement plus longues, et d'avions imparfaitement remplis.

Il existe un dernier mode de transport : le transport combiné rail-route, qui peut prendre plusieurs formes :

- le transport par rail puis par route de conteneurs ou caisses mobiles ;
- le transport par rail de véhicules routiers entier (tracteur + remorques) ;
- le transport par rail de remorque ;
- le transport de wagons sur des remorques routières ;
- et la livraison terminale par route d'envois ferroviaires.

Dans le cadre du transport de fruits et légumes, c'est généralement le premier cas qui est pratiqué (fer-route-caisse mobile), mais il est peu utilisé car plus contraignant. Un rapport du CNT⁵² explique que les faiblesses de ce mode de transport sont dues d'une part au fait que les opérations sont trop segmentées, et que d'autre par la vitesse commerciale moyenne est inférieure à celle de la route et même à celle du transport maritime. Par ailleurs, selon la Fédération Nationale des Transport Routiers, ce type de transport serait pertinent uniquement sur de longues distances (640km en moyenne), tout comme l'est le rail classique sur des distances un peu moins grandes (342km) ; la route sur des courtes distances de porte à porte (139km) et pour les produits à forte valeur ajoutée; et le fluvial sur des courtes distances (126km) pour des produits lourds et sans d'urgence.

Selon Rizet et Keïta⁵³ (2005), la consommation moyenne du chemin de fer est de 5,7.10⁻⁶tep/t.km, à laquelle il faut ajouter la consommation pour la réfrigération des conteneurs ou caisses mobiles, qui se calcule de la même façon que dans le cadre du transport maritime, à savoir :

$$C_{\text{tonne.km}} = \frac{C_{\text{kWh}}^{\text{diesel}} * C_{\text{horaire}}^{\text{réfrigération}}}{v * \tau_{\text{remplissage}}}$$

$$(\text{Avec } v=120\text{km/h}^{54} ; C_{\text{kWh}}^{\text{diesel}}=220\text{g/kWh} ; C_{\text{horaire}}^{\text{réfrigération}}=3,4\text{kWh/h} ; \tau_{\text{remplissage}}=10,1 \text{ tonnes})$$

⁵² CNT, (2005). Le transport intermodal en Europe. Conseil National des Transports, Rapport sur le transport combiné, Annexe n°2.

⁵³ Rizet C., Keïta B., (2005). Chaînes logistiques et Consommation d'énergie : cas du Yaourt et du Jean. Inrets-Ademe.

⁵⁴ Selon l'Union Internationale des sociétés de transport combiné rail-route. <http://www.uirr.com/>

Le tableau et le graphique ci-dessous illustrent les principaux résultats et permettent de comparer les différents modes de transport.

					Consommation énergétique totale			Coût énergétique
unité=tep/t.km					tep/t.km	MJ/t.km	unité propre	MJ/t.km
Sources	Moyen de transport	Traction/propulsion	Réfrigération	Autres besoins				
Bio Intelligence Service	camion PTAC 19t	7,000E-05	1,190E-05		8,190E-05	3,440	9,545E-02 litres/t.km	3,885
Bio Intelligence Service	camion PTAC 19t (vide)	5,2129E-05			5,213E-05	2,189	6,076E-02 litres/t.km	2,473
à partir méthode B.I.S	camion PTAC 40t	2,300E-05	1,900E-06		2,490E-05	1,046	2,902E-02 litres/t.km	1,181
Bio Intelligence Service	reefer 350evp	5,240E-06	2,500E-06	6,175E-07	8,357E-06	0,351	9,740E-03 litres/t.km	0,466
Bio Intelligence Service	reefer 220evp	5,710E-06	2,570E-06	9,996E-07	9,280E-06	0,390	1,082E-02 litres/t.km	0,517
Riset	combiné électrique	5,700E-06	6,172E-07		6,317E-06	0,265	7,370E-02 kWh/t.km	0,708
Bio Intelligence Service	avion	1,260E-04			1,260E-04	5,292	1,636E-01 litres/t.km	7,818

Tableau 4: Consommation et coût énergétique par mode de transport

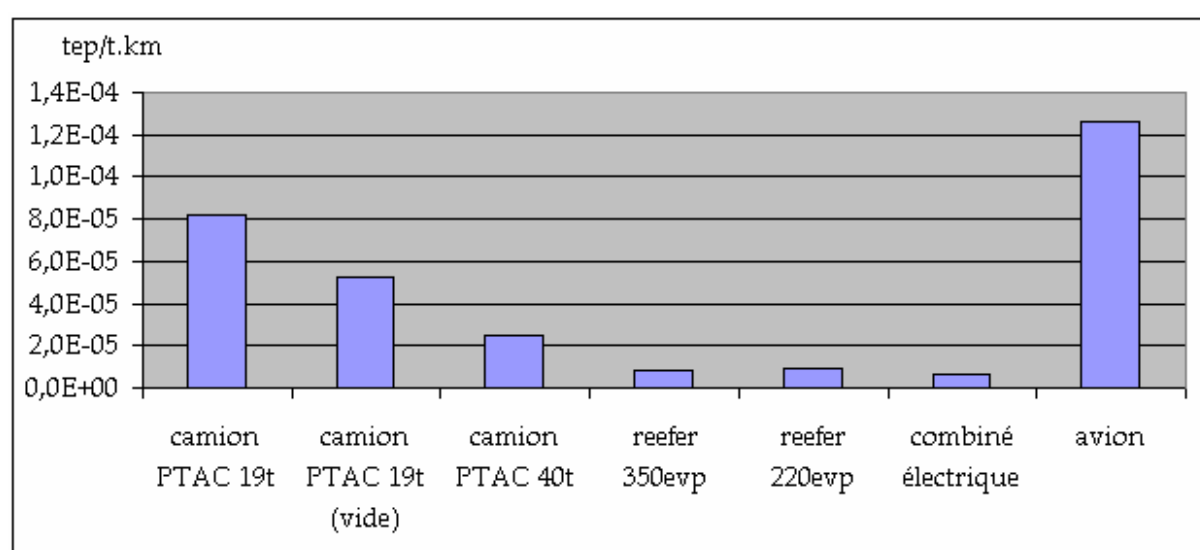


Figure 8: Comparaison des modes de transport selon leur efficacité énergétique

1. Organisation de l'étude

1.1. Origine des données

Afin de tester la validité de la méthode proposée précédemment, une étude empirique a été réalisée sur la filière tomate. Dans une première phase, des enquêtes ont été réalisées auprès de différents acteurs de la filière dans le but de récolter les informations nécessaires. Pour cela, un questionnaire a été établi pour les trois phases considérées (production, conditionnement, et transport), à chaque fois différencié selon la zone d'étude considérée. Ainsi les principaux opérateurs de la filière ont été contactés (principalement au niveau de la production). Toutefois, les données recueillies lors de ces entretiens n'ont permis à elles seules de construire la comparaison. En effet, de par le contexte actuel (réglementation de plus en plus stricte, aléas climatiques, concurrence accrue, etc.) et la spécificité des produits vendus (périssabilité, organisation en flux tendus), la filière fruits et légumes en général, et celle de la tomate en particulier, sont des filières sous pression constante. Lassés d'être sollicités sans réellement avoir de retours, et surtout méfiants compte tenu de la portée stratégique de ces informations, les opérateurs de la filière n'ont pas toujours été enclins à répondre. Lorsqu'ils l'ont fait, compte tenu de la complexité des phases et de la variabilité temporelle et géographique (en particulier pour la phase de production), pour certains critères, les informations fournies étaient soit imprécises, soit elles présentaient une variabilité trop importante. C'est pour cela qu'il a été nécessaire de faire appel à la littérature, d'une part pour pallier aux manques de données et d'autre part pour déterminer la représentativité des valeurs recueillies. Le cas de la Hollande et de l'Espagne est particulier : il n'a pas été possible de recueillir d'information sur le terrain, les informations sont issues des travaux existants (nombreux au demeurant). Le choix des données s'est fait sur la base de la comparaison entre ces différents travaux.

1.2. Frontières du système étudié

Comme nous l'avons signalé précédemment le cadrage méthodologique, les frontières de l'étude s'étendent de la production jusqu'à la distribution. La distribution sur le territoire français des fruits et légumes étant relativement complexe, nous avons considéré comme point final de la filière un distributeur en région parisienne et donc le M.I.N (Marché d'Intérêt National) de Rungis. Ce choix se justifie d'une part par le fait qu'en France, plus de 50% des fruits et légumes est distribué par les grossistes, le plus souvent regroupés sur les marchés dit « de gros », les M.I.N. D'autre part, le M.I.N de Rungis est le deuxième centre d'éclatement français de fruits et légumes, après le marché St Charles de Perpignan, traitant respectivement 914 000 tonnes et 1 350 000 tonnes, et il se situe au carrefour des

zones d'approvisionnement considérées (hormis les produits espagnols et marocains qui transitent par Perpignan, les produits bretons, hollandais et même du Sud de la France (Provence) ne transitent pas par là).

2. Justification du cadre empirique

2.1. Le choix du produit

La tomate, de son vrai nom *Lycopersicon esculentum*, fait partie de la famille des Solanacées. Tomate-framboise, tomate-cerise, tomate oblongue, arrondie, ovale, globulaire ou même carrée, tomate blanche, jaune, rouge, verte, noire, zébrée... il y en existe de toutes les sortes, toutes les formes et toutes les couleurs, ce qui représente finalement plus d'un millier de variétés. Ce « légume », qui est en fait un fruit⁵⁵, est l'un des plus populaires au monde, représentant ainsi 14%⁵⁶ de la production légumière mondiale. Cinq siècles après sa découverte, la tomate est le premier « légume » consommé en France, avec près de 15kg par an et par personne (56 kg/an/hab en Grèce, 41 kg/an/hab en Espagne, 24 kg/an/hab en Italie).

Outre le fait que la tomate soit un produit phare de nos alimentations, cette filière est apparue comme la plus pertinente dans le sens où elle permettait d'explorer le plus grand nombre de cas de figure. De par les différentes origines de production, il est possible de combiner différentes structures productives, différents systèmes de culture (sous abri froid vs sous serre chauffée, production en sol vs production hors sol), différentes pratiques culturales (biologique vs conventionnel), ou encore différents modes de transport (maritime, routier, ferroviaire). Cette variété a pour objectif de servir la représentativité de la méthode mise en place, qui doit bien évidemment être adaptée à tout type de produit horticole et d'itinéraire technique.

2.2. Les zones d'étude

2.2.1. Le marché de la tomate dans le monde et en France

En 2006, la production mondiale de tomate atteignait pratiquement les 124 millions de tonnes⁵⁷. La Chine est le principal producteur avec un volume de production de près de 32 millions de tonnes, suivie de l'Union Européenne (16 millions de tonnes). Les Etats-Unis occupent le troisième rang mondial (11 millions de tonnes), suivis par la Turquie (9,9 millions de tonnes).

⁵⁵ Fondation Louis Bonduelle, Portraits de légumes.

<http://www.fondation-louisbonduelle.org/srt/flb/document/show?location.id=1198&id=391>

⁵⁶ FAOSTAT, données 2006, nos calculs.

⁵⁷ FAOSTAT, OAA Division de la Statistique 2008.

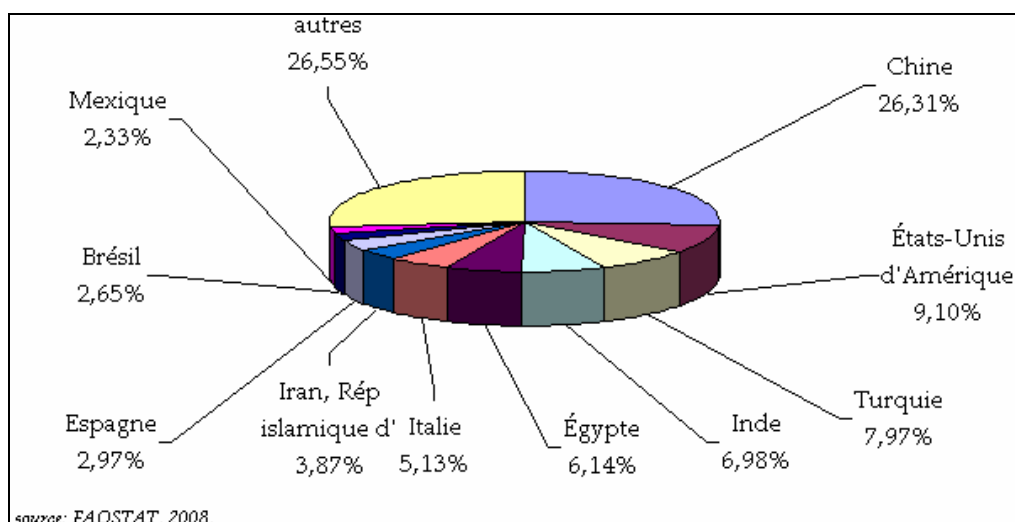


Figure 9: Répartition de la production mondiale de tomates en 2006

La France est le sixième producteur européen (740 000 tonnes), après l'Italie (6,3 millions de tonnes), l'Espagne (3,7 millions de tonnes) et la Grèce (1,7 million de tonnes). Aux portes de l'Europe, le Maroc est un acteur incontournable du marché de la tomate en frais, il produit plus de 1,2 million de tonne par an.

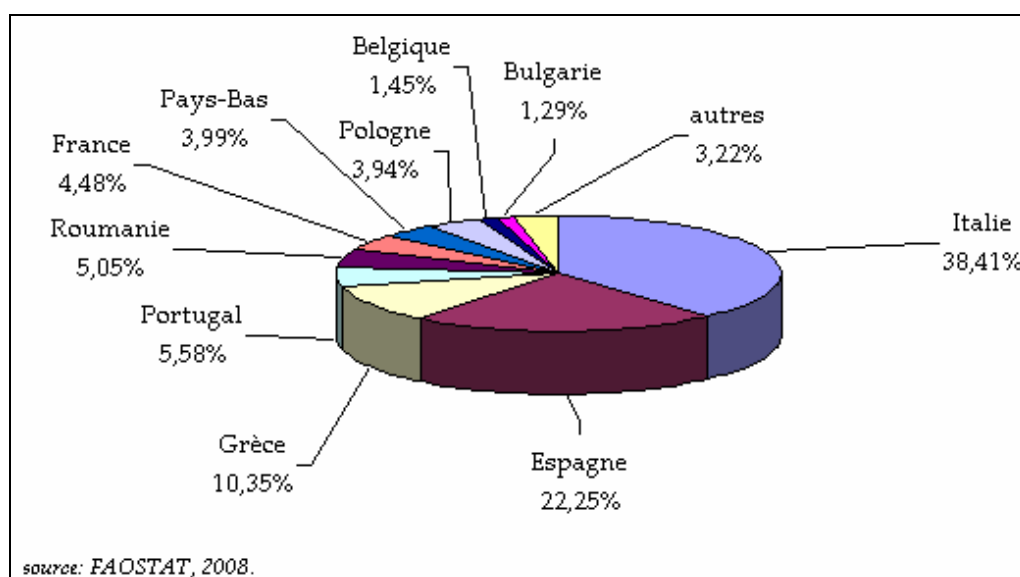


Figure 10: Répartition de la production européenne de tomates en 2006

Les échanges de tomates représentent près de 14% du commerce mondial de fruits et légumes frais. En effet, presque 5 millions de tonnes de tomates ont été respectivement importées et exportées à travers le monde en 2005⁵⁸. Parmi les dix principaux exportateurs de tomates, dont le premier d'entre eux l'Espagne (900 000 tonnes), 7 se situent dans la zone euro méditerranéenne⁵⁹.

⁵⁸ FAOSTAT, © OAA Division de la Statistique, 2008.

⁵⁹ Espagne, Pays-Bas, Jordanie, Turquie, Syrie, Belgique et Maroc

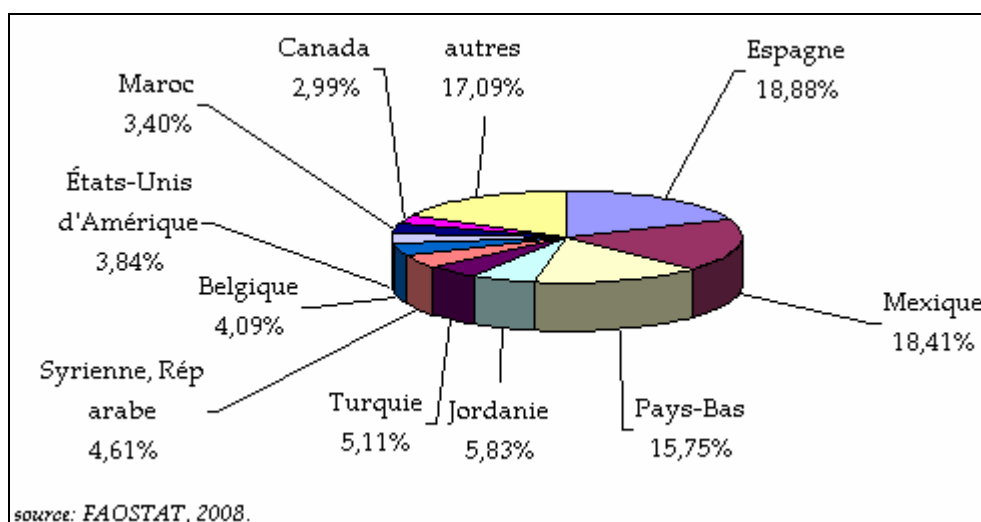


Figure 11: Répartition des exportations mondiales de tomates en 2005

En 2004, plus de 92% des importations de l'Union Européenne étaient intra-communautaires, les principaux fournisseurs européens de tomates de l'Union Européenne étant dans l'ordre l'Espagne, les Pays-Bas, la Belgique, l'Italie et la France⁶⁰. Les importations françaises sont essentiellement marocaines (190 000 tonnes) et espagnoles (165 000 tonnes), représentant à elles seules 75% du volume total de tomates importées⁶¹. La Belgique et les Pays-Bas sont également deux fournisseurs importants de la France, mais dans une moindre mesure, respectivement 11,4% et 6,5% des volumes importés.

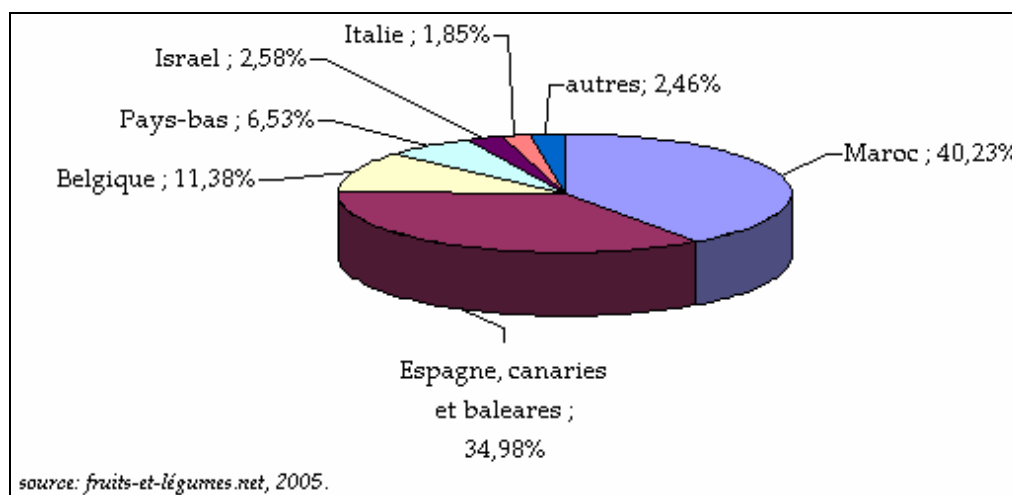


Figure 12: Origine des importations françaises de tomates en 2006

Ces volumes d'importation varient selon la période de l'année. Comme au niveau européen, les importations françaises se concentrent sur les mois d'hiver, de décembre à mars-avril.

⁶⁰ Desmas S., (2005). Analyse comparative de compétitivité : le cas de la filière tomate dans le contexte euro-méditerranéen. Mémoire de fin d'études, IAMM.

⁶¹ CTIFL, www.fruits-et-légumes.net, données 2005, nos calculs.

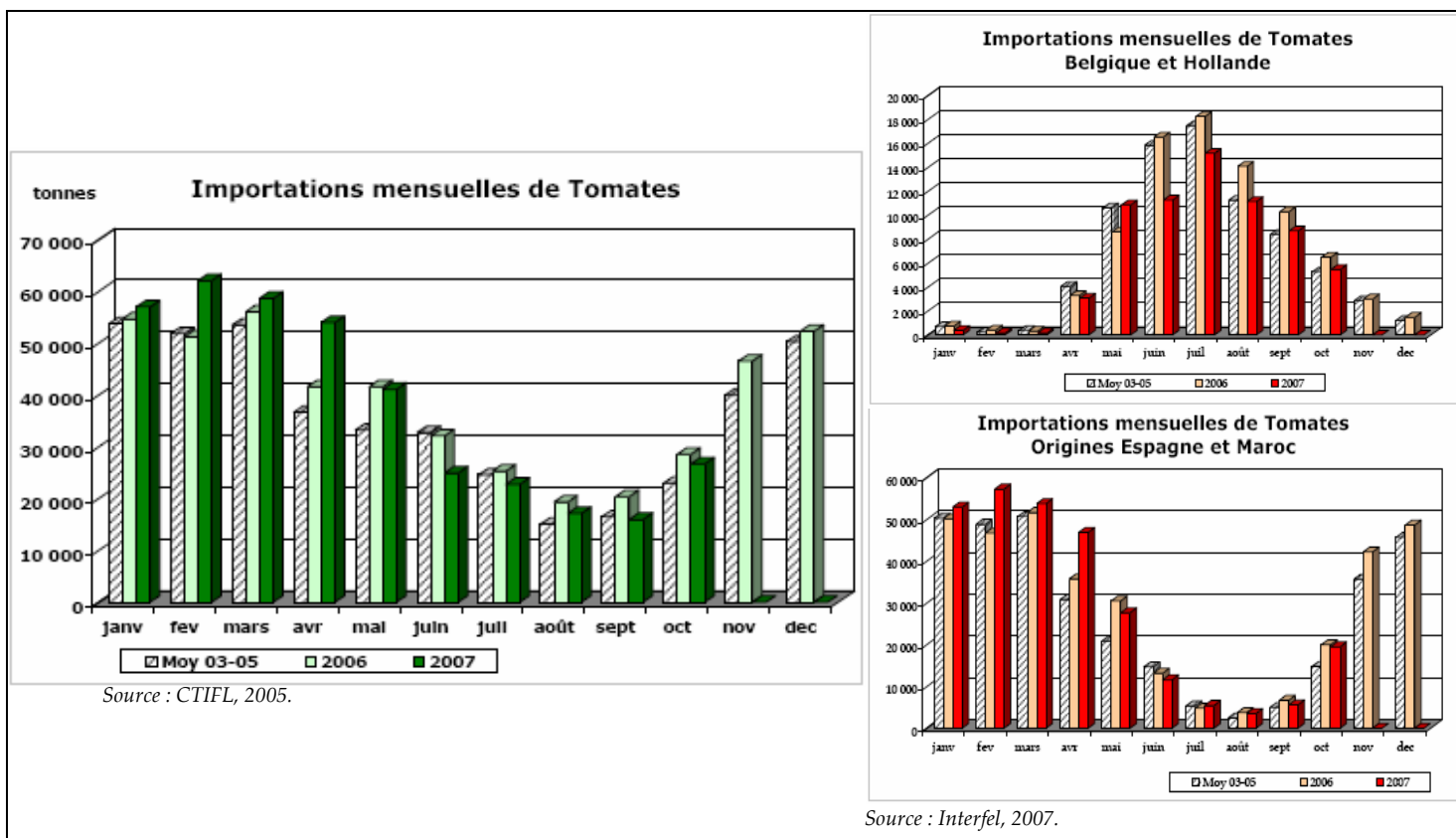


Figure 13: Structure des importations françaises de tomates

Le détail des importations mensuelles montre que la répartition des importations en fonction de la provenance varie au cours des saisons. Ainsi selon le calendrier d'importation, il apparaît que les origines Espagne-Maroc et Belgique-Hollande ne sont pas tant en concurrence mais plutôt complémentaires, comme le montrent les graphiques ci-dessus.

2.2.2. Le choix des pays et des régions de production⁶²

Compte tenu de ces éléments (production, importation...), le choix des zones de production à considérer s'est porté sur le Maroc, l'Espagne et les Pays-Bas pour les filières d'importation, et sur la France bien évidemment pour la filière locale. Outre la représentativité de ces zones sur le marché français, elles présentent également l'intérêt d'avoir des itinéraires techniques différents. C'est d'ailleurs pour cela que les Pays-Bas ont été choisis, plutôt que la Belgique, leurs systèmes de production étant à la pointe de la technologie, ils méritent une attention particulière.

Pour chacun de ces pays, nous avons choisi les zones de production les plus représentatives de la production nationale. Au Maroc, c'est la région du Souss qui est considérée, région du Sud du Maroc et dont la capitale est Agadir. D'après l'EACCE⁶³, près de 67% de la production marocaine est cultivée dans cette région, qui contribue par ailleurs à hauteur de 96% aux exportations nationales de tomates primeurs. En Espagne, la région d'Almeria est la principale région espagnole productrice et

⁶² Voir **Annexe 4 : situations des zones de production**

⁶³ Etablissement Autonome de Contrôle et de Coordination des Exportations

exportatrice de tomates fraîches (respectivement 61% et 45%, d'après le M.A.P.A⁶⁴). Cette région est d'ailleurs connue pour avoir la plus grande concentration d'exploitations sous abri en Europe, et même au niveau mondial (près de 27000 ha). Au Pays-Bas, les principales régions serristes sont la région de Naaldwijk, entre Rotterdam et Amsterdam, et l'est de la région d'Eindhoven. La production française se concentre dans 3 bassins de production : le Sud-est⁶⁵ (50,50%), l'Ouest⁶⁶ (30,90%) et le Sud-ouest⁶⁷ (10,40%), avec une large domination de la Provence, notamment les Bouches-du-Rhône (31%), et de la Bretagne⁶⁸.

3. Présentation des filières selon les zones d'étude

3.1. L'organisation générale de la filière

La filière fruits et légumes en général, tomate en particulier, est plus ou moins bien structurée selon les zones considérées. Il y a deux niveaux d'analyse : l'organisation des acteurs et leur coordination. Ainsi, on a pu constater qu'au Maroc, la profession était relativement bien structurée, notamment grâce à la présence de grands groupes (e.g Agri Souss, Azura, Idyl, G.P.A., Armona), qui sont de véritables moteurs, en termes d'innovations techniques, logistiques et organisationnelles. Aujourd'hui l'APEFEL « représente près de 500 producteurs et producteurs-exportateurs de fruits et légumes, exportant près de 70% des quantités globales de fruits et légumes exportés »⁶⁹. Cette stabilité offre à la profession l'opportunité de défendre relativement bien ses intérêts auprès de ses partenaires étrangers. En Espagne, même si les producteurs et les autres acteurs de la filière se sont réunis au sein de plusieurs organisations (coopératives, associations), il existe une concurrence interne au sein de la filière et un réel manque de coordination. La récente structuration de l'interprofession andalouse⁷⁰, révèle un défaut de confiance et la méfiance qui règne dans cette zone. En France, la situation est un peu différente : les organisations de producteurs (OP) sont la base de l'organisation du modèle agricole français. Ainsi près de 60%⁷¹ de la filière tomate est organisée (Faudrin *et al.*, 2004) en OP, qui se regroupent à l'échelle régionale au niveau des Comités de Bassin, et au niveau national au sein de la Section Nationale Tomate (SNT) (70% de la production nationale). Toutefois, la coordination n'est pas homogène dans tous les territoires. Ainsi la filière bretonne présente des caractéristiques

⁶⁴ Ministerio e Agricultura, Pesca y Alimentación

⁶⁵ Alpes Maritimes, Aude, Bouches-du-Rhône, Drôme, Gard, Hérault, Isère, Pyrénées Orientales, Var

⁶⁶ Bretagne + Val de Loire : Côtes-d'Armor, Finistère, Ile-et-Vilaine, Loire Atlantique, Loiret, Maine-et-Loire, Vendée

⁶⁷ Gironde, Lot, Lot-et-Garonne, Tarn-et-Garonne

⁶⁸ CTIFL, www.fruits-et-légumes.net, 2006, nos calculs

⁶⁹ Association Marocaine des Producteurs Exportateurs de Fruits et Légumes

⁷⁰ Hortyfruta est née fin 2007

⁷¹ Faudrin J.C., Portet P., (2004). Audit de la filière des fruits et légumes - Rapport de synthèse. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales, mars 2004, 30p.

semblables à la filière marocaine, en particulier grâce au Cerafel⁷² qui coordonne aussi bien les initiatives d'un point de vue technique et scientifique (par le biais du C.A.T.E et des divers stations expérimentales), mais également d'un point de vue commercial (gestion des marchés, promotion des produits) grâce à la mise en place d'une marque commerciale commune, Prince de Bretagne. De manière similaire, le Val de Loire a également entrepris la même démarche en créant la coopérative et la marque Océane. Le Sud de la France ne présente absolument pas la même structure, il n'existe pas de coordination particulière entre les opérateurs de la filière. le modèle agricole des Pays-Bas est traditionnellement un modèle d'économie libérale et l'organisation des marchés tend à développer la concurrence. Cependant les agriculteurs sont aussi fortement solidaires entre eux, et ont créés de nombreuses coopératives agricoles.

3.2. Caractérisation des systèmes de production

La culture de la tomate a connu de fortes mutations au cours des dix dernières années, pour s'adapter aux exigences de qualité et de calendrier imposés par les marchés. Ces mutations se sont manifestées sur le plan de la production, notamment par la reconversion d'une grande partie des cultures plein-champ. La culture de la tomate sous abri serre -qui permet l'adoption de techniques culturales plus appropriées et ainsi de gagner en précocité et d'améliorer les rendements- s'est développée et généralisée, s'inscrivant dans le contexte général de croissance mondiale des productions sous abri. En effet, « *le boom technologique et économique* des années 80 (plasticulture, nouvelles variétés, logistique, distribution, consommation) [a été] le point de départ d'une croissance exponentielle des surfaces », qui atteignent aujourd'hui 730 000 ha dans le monde, et dont près de 30% se trouve en région méditerranéenne⁷³.

La tomate est une plante délicate et a des exigences pédo-climatiques particulières : elle est sensible aux températures, à la lumière et au degré d'humidité. La température est certainement un des facteurs les plus déterminants dans la production de tomate, qui craint le froid, le gel, les vents chaud et surtout les variations thermiques. La lumière est un facteur agronomique fondamental, puisqu'elle intervient dans de nombreux phénomènes physiologiques, notamment la photosynthèse, et la tomate est particulièrement exigeante en énergie lumineuse, en outre pour l'induction florale et la germination du pollen. Enfin le taux d'humidité conditionne le calibre, la coloration et la qualité du fruit, et des taux trop élevés favorisent le développement des maladies. Compte tenu de l'évapotranspiration des plants, il est nécessaire d'aérer les serres -voire de déshumidifier- quelque

⁷² Comité régional économique agricole en fruits et légumes de la Bretagne

⁷³ Dubon G., (2007). Ou se construisent les serres dans le monde ? *In* Dossier Serre, Réussir Fruits et Légumes, n° 264, Juillet/Août 2007, pp.20-33

soit le lieu de production. Ces trois éléments pédo-climatiques ont conditionné les structures productives et les pratiques culturelles des différentes zones, et sont à l'origine de leurs différences.

Ainsi, les caractéristiques technologiques sont certainement les premiers éléments à considérer. Au Sud (Maroc, Espagne), les conditions climatiques favorables ont permis la généralisation des serres dites traditionnelles, qui ne comportent ni systèmes de chauffage, de ventilation ou hydroponique. Se sont des structures sommaires de faible coût, à faibles consommations d'énergie et avec des modifications légères du micro-climat généré sous la serre. Au Maroc, après avoir longtemps utilisé des tunnels en plastique bâchés, les multichapelles à charpente en bois de type canarien sont aujourd'hui généralisées, alors qu'en Espagne les abris sont de type parral en multichapelle symétrique ou parral plat (abri plastique métallique). Par contre, dans des zones plus au Nord (Bretagne, Pays-Bas), les conditions climatiques étant plus défavorables, la production se fait dans des serres verre fortement dotées en technologie, puisqu'elles sont pour l'essentiel équipées de systèmes de chauffage, de ventilation, d'enrichissement en CO₂, et de fertigation automatisés. Certaines sont même équipées de système de brumisation, de déshumidification, et de recyclage des solutions nutritives. Ces structures, mieux isolées, permettent de maîtriser le climat (température, humidité) et laissent plus pénétrer la lumière, comparativement à un abri-plastique. Selon la zone, notamment aux Pays-Bas, la lumière naturelle n'étant pas suffisante, les producteurs ont recours à des éclairages artificiels. Les hollandais, dont la production est presque exclusivement réalisées sous serre verre et à 98% sur substrat et devant s'accommoder d'un environnement naturel défavorable, sont à l'origine de nombreuses innovations techniques. Le Sud de la France, bénéficie d'un climat plutôt clément et présente des systèmes de culture intermédiaires avec des culture de plein champ (plus de 400 ha), des cultures sous tunnels froids (environ 350 ha), mais les serres chauffées sont quand même majoritaires (\approx 700 ha).

Le sol est également une variable qui a influencé les techniques culturelles. Fertile au Maroc, la plantation se fait en sol ; peu fertile en Espagne, la culture se fait sur un sol partiellement artificiel (« *l'enarenado* », constitué de terre végétale, de fumier et de sable). Dans les autres zones, la culture se fait essentiellement en hors-sol dans des pains de substrat (laine de roche ou fibre de coco). Cette pratique permet de pallier à certains problèmes existant dans la culture traditionnelle, comme la mauvaise qualité de la terre, des taux de salinité défavorables et les maladies du sol. Par ailleurs cette technique permet d'obtenir des rendements plus élevés (50-55 kg/m² aux Pays-Bas, de 40 à 52 kg/m² en France, contre 10-15 kg/m² en Espagne et au Maroc), permettant ainsi d'amortir les infrastructures qui impliquent des investissements plus lourds.

Comme nous venons de le voir, les conditions pédo-climatiques ont conditionné les structures productives, mais ces deux éléments conjugués ont influencé les techniques culturales. Que ce soit les consommations en énergie, fertilisants, produits phytosanitaires, l'irrigation ou la durée du cycle de production, tous ces éléments sont fonction à la fois des conditions naturelles du site mais aussi par de la technologie⁷⁴ en place. Ainsi, dans le cadre des serres lourdes, l'irrigation contrôlée permet une meilleure optimisation de l'utilisation de l'eau et de la fertilisation, qui sont gérées en fonction des besoins réels des plants. Plus protégées de l'environnement extérieur, la présence de ravageurs et de maladies y est plus faible, les traitements phytosanitaires sont réduits. La contrepartie de ce système est l'importante consommation d'énergie : d'une part pour le chauffage (essentiellement au gaz naturel) et l'enrichissement en CO₂, et d'autre part pour le fonctionnement des systèmes de fertigation, de ventilation, de déshumidification, éventuellement pour le recyclage des solutions nutritives, l'éclairage artificiel, etc., qui nécessitent de l'énergie électrique.

Dans le cadre des productions sous abri froid, l'irrigation et la fertilisation sont certes moins contrôlées, mais l'eau étant devenue un facteur limitatif (sécheresse), le système d'irrigation localisée (goutte-à-goutte), qui permet une économie d'eau de l'ordre de 30%, s'est généralisé dans les exploitations du Sud. Ces systèmes de production sont par ailleurs plus dépendants de l'environnement naturel extérieur. Ainsi, même si l'Espagne et le Maroc ont des températures moyennes et des taux d'ensoleillement supérieurs, ils ne peuvent en bénéficier que partiellement. La technologie en place ne permet pas de contrôler efficacement les fluctuations pédo-climatiques ainsi que les attaques de ravageurs et maladies. Ces éléments expliquent d'une part les niveaux de rendements plus faibles, et d'autre part les niveaux plus importants en termes de consommation de fertilisants et de produits phytosanitaires. La culture de tomate, qui s'étale sur une période de production d'environ 10 mois, passe au minimum 3 mois sous des conditions climatiques défavorables, les fertilisants permettent alors à la plante de poursuivre son développement. Par ailleurs, « *malgré l'utilisation de variétés hybrides, résistances aux nématodes et aux maladies vasculaires (fusariose et verticilliose), la tomate demeure sujette aux attaques d'autres maladies et ravageurs, [telles que les maladies cryptogamiques (oïdium, mildiou et botrytis), et les maladies bactériennes (TYLCV, transmis par la mouche blanche ou Bemisia tabaci)], pouvant occasionnés des dégâts importants* »⁷⁵. Les attaques les plus virulentes ayant lieu pendant l'été, au démarrage des cultures, les producteurs pratiquent des traitements préventifs. C'est plus particulièrement le cas de la production espagnole, qui a connu de fortes attaques virales ces dernières années. Si la protection intégrée et la lutte biologique sont

⁷⁴ On désigne sous le terme de technologie à la fois les moyens techniques mais également les compétences.

⁷⁵ Chibane A., (1999). Fiche technique tomate sous serre. In Transfert de technologie en agriculture, n°57, PNTTA-MADRPM/DERD.

banalisées aux Pays-Bas et en France, elles l'étaient jusqu'à présent moins en Espagne et au Maroc, néanmoins, on constate une nette évolution des pratiques.

3.3. Caractérisation de la phase de transport

Après la libéralisation du secteur agricole en 1986, l'essentiel (99%) du transport marocain s'est effectué par voie terrestre⁷⁶, mais compte tenu de l'augmentation du prix du pétrole, l'engorgement et les défaillances du port de Tanger, ainsi que les efforts entrepris par les compagnies maritimes notamment en termes de régularité des lignes et de fiabilité des services proposés, le système logistique marocain évolue et le transport maritime connaît un nouvel essor. Dès la prochaine campagne, les professionnels rencontrés envisagent d'expédier 30% de leur production en conteneur. Ainsi l'expédition des primeurs marocains vers l'UE pouvant se faire soit par voie terrestre soit par voie maritime, il est proposé dans ce travail de comparer ces deux solutions logistiques. Dans le premier cas, le transport se fait par semi-remorques de PTAC 40 tonnes (capacité 26 palettes) jusqu'à Tanger (905 km), où ils sont chargés sur un roulier (RO /RO) pour effectuer la traversée du détroit de Gibraltar (32km), puis débarqués à Algésiras, ils repartent ensuite vers Perpignan (1340 km), soit un voyage 2260 km, en près de 3 jours. La seconde option est le chargement au port d'Agadir dans des porte-conteneurs « reefer », d'une capacité de 4500 palettes (350 evp) soit l'équivalent de 175 semi-remorques. Le voyage entre Agadir et Port-Vendres dure 3 jours (2313km), avec une demi-journée imputée au déchargement à Port-Vendres.

Les produits espagnols sont essentiellement transportés par la route (semi-remorques PTAC 40 tonnes), le transport ferroviaire est très peu développé. Il existe bien une ligne entre Algésiras et Barcelone, mais d'une part elle implique une étape supplémentaire de chargement/déchargement et rallonge de fait le temps de livraison, et d'autre part cet arrêt à Barcelone n'est pas pertinent compte tenu du fait que l'essentiel des exportations espagnoles vers l'UE se fait via Perpignan, qui se situe à tout juste 200 km plus au Nord. Toutefois compte tenu de la problématique initiale, à savoir la consommation d'énergie tout au long de la filière, il sera intéressant de comparer les 2 alternatives.

Pour les autres origines, le transport se fait également par voie terrestre. Dans le cas du Sud-Est de la France, nous considérerons comme point de départ Cavaillon, qui est de par sa position centrale la plus importante plateforme de groupement⁷⁷ (Cavaillon-Rungis : 696 km). En Bretagne, le point de départ sera Mûr de Bretagne, au centre de la zone Brest - St Pol de Léon - Rennes, les principaux sites de production (Mûr de Bretagne-Rungis : 447 km). Enfin, aux Pays-Bas, la production est concentrée autour de Naaldwijk et Westland, à 30km à l'ouest de Rotterdam (Naaldwijk-Rungis : 497 km).

⁷⁶ Source entretiens

⁷⁷ Voir Figure 4: Schéma logistique du Sud de la France avant et après la mise en place de la PF de tri unique

4. Hypothèses et résultats

4.1. La production

Comme cela l'a été suggéré dans la partie méthodologique, le rendement de production est particulièrement important dans ce type d'évaluation, puisqu'il permet de pondérer le coût énergétique. Nous avons considéré les rendements moyens suivants :

tonnes/ha						
Maroc	Espagne	Sud-Est			Bretagne	Pays-Bas
		<i>abris plastique</i>	<i>serre chauffée ancienne</i>	<i>serre chauffée récente</i>		
140	120	150	330	425	48	500

Figure 14: Rendement moyen selon la zone de production

Pour le type d'abri, nous avons considéré une structure bois au Maroc, plastique en Espagne et dans le Sud-est de la France (cas de culture non chauffée), et verre dans les serres chauffées (Sud-est, Bretagne, Pays-Bas). En considérant les coûts énergétiques de ces structures que nous avons évalués précédemment, les résultats pour chacune des zones sont les suivants :

	Maroc	Espagne	Sud-Est			Bretagne	Pays-Bas
			<i>abris froid</i>	<i>serre chauffée ancienne</i>	<i>serre chauffée récente</i>		
<i>rendement (tonnes/ha)</i>	140	120	150	330	425	465	500
coût énergétique structure (MJ/ha)	185 258,33	146 019,50	146 019,50	216 833,09	216 833,09	216 833,09	216 833,09
coût énergétique structure (MJ/tonne)	1 323,27	1 216,83	973,46	657,07	510,20	466,31	433,67
coût énergétique structure (MJ/kg)	1,323	1,217	0,973	0,657	0,510	0,466	0,434

Tableau 5: Coût énergétique de la structure en place selon la zone de production (MJ/kg)

Compte tenu de la durée de vie plus courte des matériaux des abris froids (bâche plastique), ainsi que des rendements plus faibles obtenus avec ce type de structure, le coût énergétique par kilogramme de produit s'en trouve affecté et est donc plus élevé que pour des serres chauffées qui ont une durée de vie plus longue et qui permettent d'avoir des rendements supérieurs.

Selon nos calculs, la consommation moyenne d'énergie directe d'une serre au Maroc a été évaluée à 1,251kWh/m² (échantillon : 357,15ha ; écart-type = 0,51). Selon Van der Velden *et al.* (2004), la production de tomate à Almeria nécessite 0,3m³ a.e/m²⁷⁸, soit 3kWh/m² (coefficient de conversion : 1kWh = 9,99m³, source : Association Technique Energie Environnement). On a fait l'hypothèse que la consommation énergétique était relativement semblable entre une exploitation espagnole et une exploitation du Sud de la France. La Chambre d'Agriculture des Bouches-du-Rhône (premier département producteur) a évalué la consommation moyenne d'une serre verre ancienne (sans écran

⁷⁸ a.e : équivalent gaz

thermique, sans CO₂) à 330 kWh/m² contre 270 kWh/m² pour les serres récentes, mieux isolées et équipées d'écrans thermiques. Enfin, selon l'étude conduite par le CTIFL sur l'utilisation d'énergie dans les serres horticoles françaises, la consommation moyenne d'une serre bretonne est évaluée à 400kWh (ce qui correspondait par ailleurs aux valeurs moyennes recueillies dans le cadre des enquêtes). Enfin selon Elings *et al.* (2005), la consommation d'une serre hollandaise en gaz naturel est de 45, 3m³/m² (soit 450kWh/m²), à laquelle il faut ajouter 10% de consommation électrique (voir justification ci-après), ce qui revient à considérer une consommation totale de 500kWh.

Compte tenu de ces éléments et des rendements de production que nous avons considéré, le tableau suivant illustre la consommation énergétique par kilo de tomate en fonction de la zone de production.

	Maroc	Espagne	Sud-est (tunnel plastique)	Sud-est (serre verre ancienne)	Sud-est (serre verre moderne)	Bretagne	Pays-Bas
rendement kg/m ²	14	12	15	33	42,5	48	50
consommation énergétique kWh/m ²	1,2508	2,9995	2,9995	330	270	400	500
consommation énergétique MJ/m ² (coeff conv: 1kWh=3,6MJ)	4,5028	10,7982	10,7982	1188	972	1440	1800
conso énergétique MJ/kg	0,322	0,900	0,720	36	22,871	30,000	36

Tableau 6: Consommation d'énergie directe pour la conduite de la culture (MJ/kg)

Les résultats obtenus montrent sans surprise, que les serres du Nord sont nettement plus consommatrices d'énergie (rapport de 1 pour 112).

Selon nos calculs, la consommation électrique représente 80% de la consommation énergétique directe dans les abris froids, et selon la chambre d'Agriculture des Bouches-du-Rhône, le gaz naturel utilisé pour le chauffage représenterait 90% de la consommation énergétique totale d'une serre chauffée. Nous avons donc fait l'hypothèse que cette répartition était semblable pour un même type d'abris. Ainsi, grâce à ces éléments il est possible de reconstruire le mix énergétique de chaque système de production, et d'en évaluer le coût énergétique, tel que représenté ci-dessous.

			Maroc	Espagne	Sud-est (tunnel plastique)	Sud-est (serre verre ancienne)	Sud-est (serre verre moderne)	Bretagne	Pays-Bas
Consommation énergétique	kWh/m ²	gasoil	0,2507	0,5999	0,5999	-	-	-	-
		électricité	1,0001	2,3996	2,3996	33	27	40	50
		gaz naturel	-	-	-	297	243	360	450
		consommation énergétique kWh/m²	1,2508	2,9995	2,9995	330	270	400	500
	unité propre/m ²	gasoil (l/m ²)	0,025	0,063	0,063	-	-	-	-
		électricité (kWh/m ²)	1,000	2,530	2,530	3,297	2,697	4,495	4,995
		gaz naturel (m ³ /m ²)	-	-	-	29,705	24,304	40,507	45,008
Coût énergétique	MJ/m ²	gasoil	1,019	2,571	2,571	-	-	-	-
		électricité	9,601	24,284	24,284	31,648	25,893	43,156	47,951
		gaz naturel	-	-	-	1 004,027	821,477	1 369,128	1 521,254
		TOTAL MJ/m²	10,6	26,9	26,9	1 035,7	847,4	1 412,3	1 569,2
	rendement kg/m ²		14	12	15	33	42,5	48	50
	Coût énergétique MJ/kg		0,8	2,2	1,8	31,4	19,9	29,4	31,4

Tableau 7: Coût énergétique des mix énergétiques pour le fonctionnement d'une serre (MJ/kg)

En tenant compte du coût énergétique de chacune des sources d'énergie utilisées et des rendements de production, les résultats sont sensiblement différents, le rapport n'est plus de 1 pour 112 mais de 1 pour 40. Toutefois, les zones du Sud gardent toujours un avantage concernant ce critère, par rapport aux zones du Nord.

Pour comparer les différentes zones de production sur le plan de la fertilisation, nous avons considéré les doses (tonnes_{U.F}/ha) recommandées par l'Institut Agronomique Vétérinaire Hassan II, ainsi que les données recueillies dans les enquêtes (surface = 224,75 ha). Pour la production sous abri froid dans le Sud-est, les données ont été transmises par l'INRA d'Avignon. Pour les autres systèmes de production, nous avons utilisé les données proposées par Antón. Ce dernier a comparé trois systèmes de fertigation : le goutte-à-goutte standard pour une production en sol, le drainage des solutions nutritives et le recyclage de ces dernières, ceci dans le cadre des productions hors-sol. Le premier cas correspond à celui de l'Espagne, le second à celui de la Bretagne et le dernier à celui des Pays-Bas⁷⁹. Les volumes nécessaires sont exprimés dans le tableau suivant :

Zones	Maroc		Espagne	Sud-est			Bretagne	Pays-Bas
T_{UF}/ha	recommandé	réalisé		abris froid	serre ancienne chauffée	serre récente chauffée		
N	0,450	0,819	1,036	0,450	0,689	0,689	0,689	0,557
P2O5	0,450	1,538	0,268	0,286	1,168	1,168	1,168	0,698
K2O	0,750	1,125	1,903	0,904	1,193	1,193	1,193	0,810
Total (T_{UF}/ha)	1,650	3,481	3,207	1,640	3,050	3,050	3,050	2,066
Total (kg_{U.F}/ha)	0,012	0,025	0,027	0,004	0,009	0,007	0,007	0,004

Tableau 8: Consommation d'unités fertilisantes selon la zone de production (kg_{U.F}/kg tomate)

On en a alors déduit le coût énergétique de la fertilisation, tel qu'illustré ci-dessous :

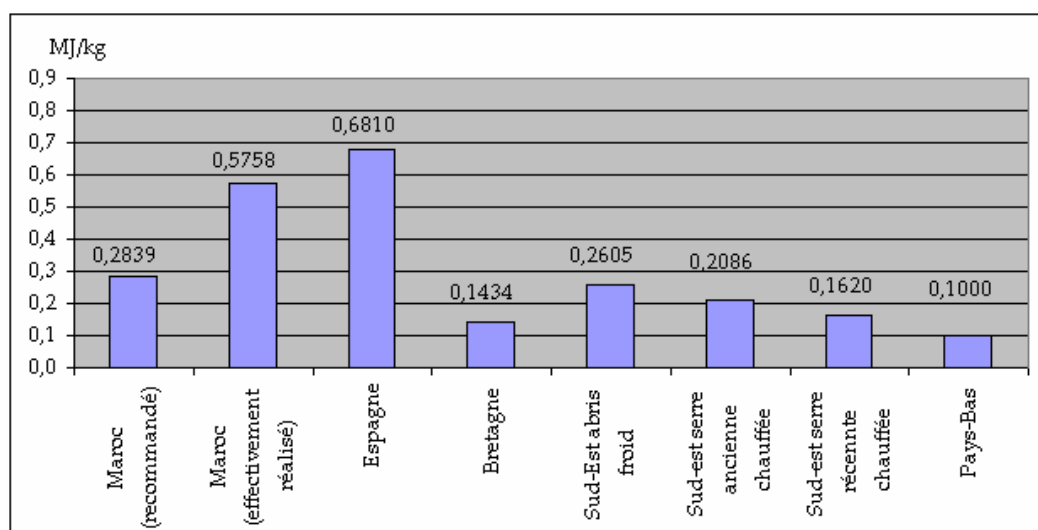


Figure 15: Coût énergétique de la fertilisation (en unités fertilisantes N-P2O5-K20) (MJ/kg)

⁷⁹ Même si le cadre d'étude est situé en Espagne, les expériences pour les deux derniers cas ont été réalisées dans des serres verre dans lesquelles le climat était contrôlé, ce qui s'apparente aux techniques en place en Bretagne et aux Pays-Bas. Par ailleurs ces données ont été confirmées par le CATE pour la Bretagne.

Compte tenu des quantités plus importantes utilisées au Maroc et en Espagne, le coût énergétique de la fertilisation est plus élevé dans ces zones. Toutefois, la comparaison avec les doses recommandées par l'IAV d'Agadir permet de penser qu'il y a une certaine marge de manœuvre dans cette zone, d'autant que ces pratiques auraient un coût énergétique proche de celle du Sud de la France.

Sachant que la consommation de produits phytosanitaires se caractérise par une très grande variabilité géographique et temporelle, les données récoltées n'ont pas permis d'avoir des informations significatives, permettant d'évaluer le coût énergétique de la protection des cultures. Aussi, nous avons utilisé les données proposées par Van der Velden *et al.* (2004)⁸⁰, qui comparent trois productions (tomate, concombre et poivron), dans trois zones différentes (Almeria, Murcia et Hollande). Selon cette étude, les résultats sont les suivants :

unité: kg _{ai} /ha	Espagne	Pays-Bas
insecticides+acaricides	5,1 13,62%	1,5
fongicides	20,9 80,38%	6,2
total kg_{ai}/ha	26	7,7
total MJ/ha	2 937,70	870,01

Tableau 9: Consommation de produits phytosanitaires selon la zone de production (kg_{i.a}/ha)

Compte tenu des éléments décrits dans les parties précédentes, les systèmes de production espagnols et hollandais peuvent être considérés comme les deux cas extrêmes. Ainsi l'échelle varie de 1 à 3,4.

Dans un premier temps, nous avons fait l'hypothèse que la situation au Maroc et dans le Sud de la France (sous abri froid) s'apparentait à celle de l'Espagne, et que les trois autres zones considérées se rapprochaient du cas hollandais. En tenant compte des différents rendements, on obtient les résultats suivants :

	Maroc	Espagne	Sud-Est			Bretagne	Pays-Bas
			abris froid	serre ancienne chauffée	serre récente chauffée		
total MJ/ha	2 937,70	2 937,70	2 937,70	870,01	870,01	870,01	870,01
rendement tonne/ha	140	120	150	330	425	465	500
coût énergétique MJ/kg	0,02098	0,02448	0,01958	0,00264	0,00205	0,00187	0,00174

Tableau 10: Coût énergétique du contrôle phytosanitaire selon les zones d'étude (MJ/kg)

Dans un second temps, afin de prendre en compte les démarches de lutte intégrée mises en place aussi bien au Maroc que dans le Sud-est de la France, nous avons fait varier les volumes consommés respectivement de 15 et 30%. Les résultats obtenus sont les résultats suivants :

⁸⁰ Van der Velden N.J.A., *et al.*, (2004). Duurzaamheid van vruchtgroenten in Spanje – Proeve van monitoring.

	Maroc (-20%)	S.E abris froid (-20%)
total MJ/ha	2 497,05	2 056,39
rendement kg/ha	140	150
coût énergétique MJ/kg	0,0178	0,0137

Figure 16: Variation du coût énergétique du contrôle phytosanitaire

Le paillage plastique est une autre caractéristique des cultures maraîchères. Selon les cas, il peut être localisé ou généralisé dans le cadre des productions en sol. Dans le cadre des productions hors sol, toute la surface est recouverte (en dehors de l'allée centrale, environ 5% de la surface totale), mais selon que la production est à même le sol ou conduite en jardin suspendu, le paillage utilisé est différent. A partir des données récoltées dans le cadre des entretiens, nous avons pu établir que le paillage utilisé au Maroc et en Espagne était un paillage de 40µm, et de 50µm en Bretagne. Nous avons considéré cette même valeur pour le cas des Pays-Bas, compte tenu des similitudes entre ces deux zones. Enfin, nous avons utilisé les données fournies par la chambre d'agriculture des Bouches-du-Rhône pour la zone du Sud-est.

	Zone	Maroc	Espagne	Sud-est sol	Sud-est H.S	Bretagne	Pays-Bas
Consommation	épaisseur	40µm	40µm	35µm	80µm	50µm	50µm
	surface couverte	48%	48%	60%	95%	95%	95%
	rendement (tonne/ha)	140	120	150	425	480	500
	kg/ha de production	271	271	200	760	460	460
	kg/tonne de production	1,94	2,26	1,33	1,79	0,96	0,92
Coût énergétique (MJ/kg production)		0,200	0,233	0,137	0,184	0,099	0,095

Figure 17: Coût énergétique du paillage plastique (MJ/kg)

Même si la consommation de plastique est en volume plus faible pour les productions en sol, compte tenu des rendements de production, le rapport s'inverse lorsqu'on considère le coût énergétique.

L'utilisation de plants greffés s'est à peu près généralisée aujourd'hui quelque soit les zones. Les recherches sur l'outil végétal ont conduit au développement de plants hybrides plus résistants et permettant d'avoir des rendements plus importants. En effet ces plants peuvent être établis sur deux bras, ce qui démultiplie la capacité de production. Mais ceci n'est pas le cas pour toutes les zones, et par ailleurs tous les plants ne peuvent être conduits de la sorte compte tenu de la surface disponible (en général 1 plant sur 2). De ce fait, on observe des densités de plantation différentes selon les zones, des rendements différents et donc un coût énergétique différent.

Zone	Maroc	Espagne	Sud-est			Bretagne	Pays-Bas
			<i>abris froid</i>	<i>serre ancienne</i>	<i>serre récente</i>		
<i>densité plantation (plants/ha)</i>	20000	22000	10000	23000	23000	22000	25000
<i>rendement (tonnes/ha)</i>	140	120	150	330	425	480	500
coût énergétique (MJ/ha)	5600	6160	2800	6440	6440	6160	7000
Coût énergétique (MJ/tonne)	40	51,333	18,667	19,515	15,153	12,833	14
Coût énergétique (MJ/kg)	0,040	0,051	0,019	0,020	0,015	0,013	0,014

Figure 18: Coût énergétique des plants

Nous reviendrons ultérieurement⁸¹ sur ce coût énergétique, qui doit être prise en compte avec discernement.

Selon Reist et Gysi (1990), le coût d'un substrat type laine de roche serait de 18MJ/litre. Sachant qu'il faut à peu près 5litres de substrat par plant, on aurait les résultats suivants :

	densité de plantation	litres/ha	coût énergétique (MJ/ha)	coût énergétique (MJ/kg)
<i>Sud-est verre ancienne</i>	23 000	115 000	2 070 000	6,27
<i>Sud-est verre récente</i>	23 000	115 000	2 070 000	4,87
Bretagne	22 000	110 000	1 980 000	4,26
Pays-Bas	25 000	125 000	2 250 000	4,50

Tableau 11: Coût énergétique des substrats de culture (MJ/kg)

Le coût énergétique moyen de cet élément est donc de 4,5MJ/kg. Là encore ce résultat doit être considéré avec précaution, car les serristes utilisent de plus en plus la fibre de coco, qui est biodégradable. A ce jour, il n'y a pas de coefficient énergétique pour ce type de substrat, mais il est certainement moins élevé que celui de la laine de roche. Nous reviendrons également sur cet élément dans l'analyse des résultats⁸².

Le dernier élément que nous souhaitons considérer était la consommation de fumier et/ou de compost, dans le cas des cultures en sol. Selon les experts rencontrés, il est utilisé comme fumure de fond et l'apport serait de 40tonnes/ha. D'après la méthode Planète, le coût énergétique des engrais organiques tels que le fumier et le compost a été évalué respectivement à 8,9MJ/tonne et 51,5MJ/tonne. Dans le cas de l'utilisation de fumier, le coût énergétique serait en moyenne de 0,0026MJ/kg de tomate, et dans le second cas, il serait de 0,015MJ/kg de tomate. Compte des incertitudes sur ces coefficients énergétiques (notamment sur le coût énergétique du matériel utilisé) et de la part relative dans le coût énergétique total, nous avons fait le choix de ne pas en tenir compte dans l'évaluation générale.

⁸¹ Voir 6.Limites et proposition

⁸² Voir 62.

Synthèse et discussion

4.2. Le conditionnement

Compte tenu de la similitude des zones de production au Maroc, en Espagne et au Pays-Bas, en termes de concentration des exploitations, et que selon les données recueillies l'éloignement moyen des fermes marocaines par rapport aux stations de conditionnement est de 12km, nous avons alors considéré un trajet de 24km pour la phase d'approvisionnement/transport intermédiaire pour ces trois zones. En Bretagne et dans le sud-est de la France, les exploitations sont moins groupées. A partir des informations collectées, nous avons estimé l'éloignement moyen à 20 km, soit un trajet de 40 km.

	Maroc	Espagne	Sud-est	Bretagne	Pays-Bas
<i>Eloignement en km (A/R)</i>	24	24	40	40	24
Conso aller (tep/tonne)	9,828E-04	9,828E-04	1,638E-03	1,638E-03	9,828E-04
Conso retour (tep/tonne)	6,256E-04	6,256E-04	1,043E-03	1,043E-03	6,256E-04
Conso totale (tep/tonne)	1,608E-03	1,608E-03	2,681E-03	2,681E-03	1,608E-03
Consommation totale MJ/kg	6,755E-02	6,755E-02	1,126E-01	1,126E-01	6,755E-02
Coût énergétique MJ/kg	0,0763	0,0763	0,1272	0,1272	0,0763

Tableau 12: Consommation et coût énergétique du transport intermédiaire (approvisionnement)

D'après les données récoltées, la consommation moyenne en électricité et en gasoil est sensiblement la même quelque soit la zone (respectivement : 41,881kWh/tonne et 0,156litres/tonne)⁸³. Par contre la durée de stockage et la température de stockage sont différentes selon la zone considérée. En effet, dans le Sud, les produits sont stockés à 8-9° pour garantir la qualité du fruit tout au long de la phase de transport, alors qu'au Nord ils sont conditionnés à 11-12°C. Dans le premier cas, les produits sont entreposés en chambre froide (pré-refroidissement + stockage) une vingtaine d'heures, alors que cette période est plus longue dans les autres zones (entre 3 et 5 jours). L'équilibre des consommations entre les zones signifie que les deux paramètres (temps et température) se compensent. Le tableau ci-dessous reprend ces résultats et illustrent la consommation et le coût énergétique du mix énergétique d'une station de conditionnement.

⁸³ La tomate représente plus de 92% des volumes conditionnés par les stations prises en compte pour cette évaluation, ce qui a permis de considérer les données récoltées comme représentatives.

		Maroc	Espagne	Sud-Est	Bretagne	Pays-Bas
consommation énergétique	électricité (kWh/tonne)	41,881				
	gasoil (litres/tonne)	0,156				
	nombre jours de stockage	0,6458	0,6458	3	5	5
	électricité (MJ/kg)	0,151				
	gasoil (MJ/kg)	0,006				
	TOTAL (MJ/kg)	0,156				
coût énergétique	électricité (MJ/kg)	0,402				
	gasoil (MJ/kg)	0,006				
	TOTAL (MJ/kg)	0,408				

Tableau 13: Consommation d'énergie directe et coût énergétique pour le processus de conditionnement

Le dernier élément à considérer dans le cadre de cette phase est l'emballage. Nous avons constaté que l'emballage type d'une tomate vrac était le plateau carton brut d'une contenance de 6 kg. Selon une étude de l'Ademe⁸⁴, le coût énergétique d'un plateau carton serait de 13,33MJ/unité. Sachant que dans notre cas, une unité peut contenir 6 kg de tomate, le coût énergétique de l'emballage par kilo de tomate serait de 2,22MJ/kg. Ce résultat est à priori surprenant, nous y reviendrons plus tard, lors de la synthèse⁸⁵.

4.3. Le transport

Pour les cinq zones étudiées (Maroc, Espagne, Sud-est, Bretagne et Pays-Bas), nous avons considéré respectivement Agadir, Almeria, Cavaillon, Mûr de Bretagne et Rotterdam comme les centres de ces zones, et donc comme point de départ du maillon principal. La distance entre les coopératives et ces centres sont fonction de l'étendue de la zone⁸⁶. Pour les produits en provenance du sud (Maroc et Espagne), il a été considéré que le transport entre Perpignan et Rungis se faisait en passant par la Vallée du Rhône, principal axe routier français, ce qui correspond à un surplus de 120 km par rapport à la distance la plus courte. Le tableau ci-dessous rend compte des résultats des différentes chaînes logistiques.

⁸⁴ ACV emballage pommes

⁸⁵ Voir 62

Synthèse et discussion

⁸⁶ Voir Annexe 4 : situations des zones de production

	Chaîne logistique	Moyen de transport	distance (km)	Consommation (MJ/tonne)	Coût énergétique (MJ/tonne)
Maroc routier	coopérative-Agadir	camion, PTAC 40t	60	6,275E+01	7,087E+01
	Agadir-Tanger	camion, PTAC 40t	951	9,946E+02	1,123E+03
	Tanger-Algesiras	ferry RORO (220evp)	31	1,208E+01	1,603E+01
	Algesiras-Perpignan	camion, PTAC 40t	1330	1,391E+03	1,571E+03
	Perpignan-Rungis	camion, PTAC 40t	956	9,998E+02	1,129E+03
	TOTAL		3328	3460,08516	3910,187
Maroc maritime	coopérative-Agadir	camion, PTAC 40t	60	6,275E+01	7,087E+01
	Agadir-Port-Vendres	reefer (350evp)	2313	8,119E+02	1,077E+03
	Port-Vendres-Perpignan	camion, PTAC 40t	35	3,660E+01	4,134E+01
	Perpignan-Rungis	camion, PTAC 40t	956	9,998E+02	1,129E+03
	TOTAL		3364	1911,028422	2318,267
Espagne	coopérative-Almeria	camion, PTAC 40t	40	4,183E+01	4,724E+01
	Almeria-Perpignan	camion, PTAC 40t	1040	1,088E+03	1,228E+03
	Perpignan-Rungis	camion, PTAC 40t	956	9,998E+02	1,129E+03
	TOTAL		2036	2129,2488	2404,765
Bretagne	coopérative-Mûr de Bretagne	camion, PTAC 40t	120	1,255E+02	1,417E+02
	Mûr de Bretagne-Rungis	camion, PTAC 40t	447	4,675E+02	5,280E+02
	TOTAL		567	592,9656	669,696
Sud-Est	coopérative-Cavaillon	camion, PTAC 40t	70	7,321E+01	8,268E+01
	Cavaillon-Rungis	camion, PTAC 40t	696	7,279E+02	8,221E+02
	TOTAL		766	801,0828	904,740
Pays-Bas	coopérative-Rotterdam	camion, PTAC 40t	25	2,615E+01	2,953E+01
	Rotterdam-Lille	camion, PTAC 40t	230	2,405E+02	2,717E+02
	Lille-Rungis	camion, PTAC 40t	235	2,458E+02	2,776E+02
	TOTAL		490	512,442	578,750

Tableau 14: Consommation et coût énergétique selon la chaîne logistique adoptée (MJ/tonne)

Bien évidemment, compte tenu de la distance, les consommations énergétiques imputées au transport sont plus élevées pour les produits en provenance du Sud que pour les autres zones. On fait le même constat lorsque l'on raisonne en termes de coût énergétique. Pour le Maroc, nous avons considéré deux alternatives, la solution maritime est sans conteste plus favorable que la solution routière. Le graphique offre une vision plus synthétique de ces résultats :

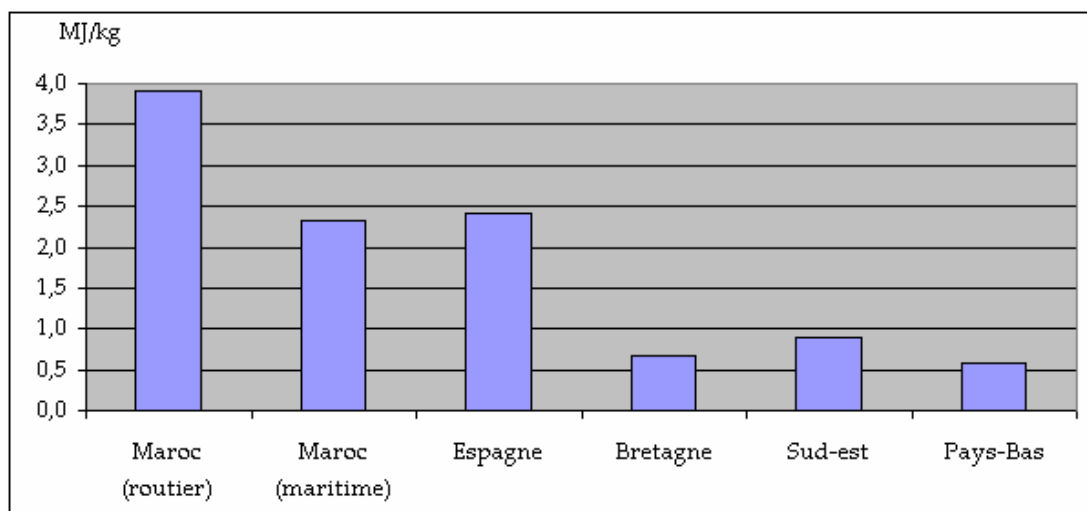


Figure 19: Coût énergétique de la phase de transport (MJ/kg)

5. Synthèse et discussion

L'objectif de cette étude était d'une part de mettre en évidence quels étaient les points critiques en terme de coût énergétique au sein d'une filière, à la fois entre les différentes étapes de la filière, mais également à l'intérieur de ces étapes. D'autre part, elle avait aussi et surtout pour but de pouvoir comparer différents systèmes de production et itinéraires techniques, notamment du point de vue de la localisation des zones de production par rapport aux zones de consommation.

Nous allons présenter deux versions des résultats : une dans laquelle nous n'avons pas pris en compte le coût énergétique imputé au substrat et à l'emballage, et une seconde dans laquelle ils sont intégrés. En effet, compte tenu des incertitudes sur les coefficients énergétiques de ces deux éléments, il a été préféré de proposer les deux situations, de façon à se rendre compte de l'impact que pourrait justement avoir l'emballage et l'utilisation de substrat sur la filière.

5.1. Cas où l'emballage et le substrat ne sont pas considérés

Le tableau suivant reprend l'ensemble des résultats présentés précédemment et permet de faire cette analyse globale.

	Maroc		Espagne		Sud-est						Bretagne		Pays-Bas	
	roucier	maritime			tunnel plastique		serre verre ancienne		serre verre moderne					
rendement (kg/m²)	14		12		15		33		42,5		48		50	
structure	1,323	45,34%	1,217	27,38%	0,973	31,58%	0,657	2,02%	0,510	2,45%	0,466	1,55%	0,434	1,35%
énergie directe	0,759	25,99%	2,238	50,35%	1,790	58,08%	31,384	96,54%	19,938	95,59%	29,423	97,54%	31,384	97,99%
fertilisation	0,576	19,73%	0,681	15,32%	0,143	4,65%	0,260	0,80%	0,209	1,00%	0,162	0,54%	0,100	0,31%
produits phytosanitaires	0,0210	0,72%	0,0245	0,55%	0,0196	0,64%	0,0026	0,01%	0,0020	0,01%	0,0019	0,01%	0,0017	0,01%
plastique	0,200	6,84%	0,233	5,24%	0,137	4,45%	0,184	0,57%	0,184	0,88%	0,099	0,33%	0,095	0,30%
plants	0,040	1,37%	0,051	1,15%	0,019	0,61%	0,020	0,06%	0,015	0,07%	0,013	0,04%	0,014	0,04%
sous-total	2,918		4,415		3,083		32,508		20,858		30,164		32,028	
part dans le coût énergétique total %	39,90%	51,01%	60,60%		71,89%		96,42%		94,54%		95,44%		96,79%	
transport intermédiaire	0,076	15,74%	0,0763	15,74%	0,127				23,74%	0,1272	23,74%	0,0763	15,74%	
énergie directe	0,408	84,26%	0,4084	84,26%	0,408				76,26%	0,408	76,26%	0,4084	84,26%	
sous-total	0,485		0,485		0,536					0,536		0,485		
part dans le coût énergétique total %	6,63%	8,47%	6,61%		12,49%		1,59%		2,43%		1,69%		1,46%	
Transport et distribution	3,910	2,318	2,405		0,670					0,905		0,579		
part dans le coût énergétique total %	53,47%	40,52%	32,79%		15,62%		1,99%		3,04%		2,86%		1,75%	
TOTAL MJ/kg	7,313	5,721	7,334		4,288		33,713		22,064		31,605		33,092	

Tableau 15: Coût énergétique des différents paramètres évalués pour les cinq filières étudiées (emballage et substrat non compris)

La première remarque que l'on peut faire concerne la structure du bilan énergétique : de manière générale, la phase de production représente plus de 76% du coût énergétique total, et le

transport à peine plus de 22% (conditionnement = 5,15%). Par contre, lorsque l'on intègre la dimension zone de production et donc l'éloignement par rapport aux centres de consommation (schématiquement : Nord vs. Sud), le transport a une part plus faible (5%) dans le coût énergétique total pour les premiers (au profit de la production qui représente 91% du coût total), et inversement une part nettement plus importante pour les seconds (51%).

La deuxième remarque porte sur le contenu de chacune des phases. Ainsi on peut noter que dans la phase de production, quelque soit la zone, le premier poste de consommation est la consommation d'énergie directe (45%). Dans le cas des productions sous abris froid, la structure et la fertilisation représentent deux autres postes importants (respectivement 34 et 13%). Pour les cultures chauffées, 96% du coût énergétique de la phase de production est imputé à la consommation d'énergie directe, et par conséquent au chauffage. Par ailleurs, nous avons envisagé trois cas pour la production dans le Sud-est de la France, au regard de la totalité des éléments de la phase de production, il apparaît que la production sous abri froid (de saison) est plus favorable que la production sous serre chauffée. Par ailleurs les abris récents dans cette zone ont également un bilan énergétique plus favorable que dans les autres régions, ce qui peut s'expliquer par le fait que le besoin en chauffage est moindre dans cette zone, et de ce fait la consommation d'énergie directe est moins importante que dans les autres zones où l'on chauffe également.

Si l'on ne tient pas compte des emballages, le coût énergétique de la phase de conditionnement dépend essentiellement de la consommation énergétique, et plus précisément électrique.

Selon la chaîne logistique choisie, la répartition entre pré-acheminement/maillon principal/distribution en France se fait comme suit :

	pré-acheminement	maillon principal	distribution France
Maroc (routier)	1,81%	69,33%	28,86%
Maroc (maritime)	3,06%	48,24%	48,71%
Espagne	1,96%	51,08%	46,95%
Bretagne		21,16%	78,84%
Sud-est		9,14%	90,86%
Pays-Bas	5,10%	46,94%	47,96%

Tableau 16: Répartition entre pré-acheminement, maillon principal et distribution en France, selon la chaîne logistique choisie

Enfin la dernière remarque attrait au résultat global de l'évaluation. On peut constater que le coût énergétique d'une production sous abri froid est près de 8 fois plus faible que pour une production chauffée. A l'exception des Pays-Bas, le coût énergétique du conditionnement est plus

faible au Sud qu'au Nord, compte tenu de la concentration de ces zones. Et enfin, le transport a sans surprise un coût énergétique plus élevé pour les zones les plus éloignées.

La combinaison de tous ces paramètres amène à la conclusion suivante : les produits en provenance du Sud (Maroc, Espagne) ont certes un bilan écologique plus défavorable que les produits de saison du Sud de la France (sous abri froid), mais ils présentent à priori de meilleurs résultats que les productions sous serre chauffées hollandaises et bretonnes.

5.2. Cas où l'emballage et le substrat sont considérés

Comme nous l'avons dit précédemment, la prise en compte du coût énergétique de l'emballage et du substrat fait varier sensiblement les résultats, le tableau suivant en témoigne.

	Maroc		Espagne		Sud-est						Bretagne		Pays-Bas	
	routier	maritime			tunnel plastique		serre verre ancienne		serre verre moderne					
rendement (kg/m²)	14		12		15		33		42,5		48		50	
structure	1,323	45,34%	1,217	27,38%	0,973	31,58%	0,657	1,69%	0,510	1,98%	0,466	1,35%	0,434	1,19%
énergie directe	0,759	25,99%	2,238	50,35%	1,790	58,08%	31,384	80,93%	19,938	77,49%	29,423	85,48%	31,384	85,92%
fertilisation	0,576	19,73%	0,681	15,32%	0,143	4,65%	0,260	0,67%	0,209	0,81%	0,162	0,47%	0,100	0,27%
produits phytosanitaires	0,021	0,72%	0,024	0,55%	0,020	0,64%	0,003	0,01%	0,002	0,01%	0,002	0,01%	0,002	0,00%
plastique	0,200	6,84%	0,233	5,24%	0,137	4,45%	0,184	0,47%	0,184	0,72%	0,099	0,29%	0,095	0,26%
plants	0,040	1,37%	0,051	1,15%	0,019	0,61%	0,020	0,05%	0,015	0,06%	0,013	0,04%	0,014	0,04%
substrat	-		-		-		6,273	16,17%	4,871	18,93%	4,258	12,37%	4,500	12,32%
sous-total	2,918		4,445		3,083		38,781		25,729		34,422		36,528	
part dans le coût énergétique total %	30,61%	36,74%	46,51%		47,36%		91,88%		89,25%		90,38%		91,75%	
transport intermédiaire	0,076	2,82%	0,0763	2,82%	0,127				4,61%	0,127	4,61%	0,076	2,82%	
énergie directe	0,408	15,09%	0,4084	15,09%	0,408				14,81%	0,408	14,81%	0,408	15,09%	
emballage	2,222	82,09%	2,2217	82,09%	2,222				80,58%	2,222	80,58%	2,222	82,09%	
sous-total	2,706		2,706		2,757					2,757		2,706		
part dans le coût énergétique total %	29,38%	34,07%	29,32%		42,36%		6,53%		9,46%		7,24%		6,90%	
Transport et distribution	3,910	2,318	2,405		0,670					0,905		0,579		
part dans le coût énergétique total %	41,01%	29,19%	25,17%		10,29%		1,59%		2,30%		2,38%		1,45%	
TOTAL MJ/kg	9,535	7,943	9,556		6,510		42,208		29,156		38,084		39,813	

Tableau 17: Coût énergétique des différents paramètres évalués pour les cinq zones étudiées (emballage et substrat compris)

La prise en compte de l'emballage dans le coût énergétique ne modifie pas bien évidemment, la structure des phases de production et de transport, mais bouleverse la structure générale du bilan énergétique. Ainsi, comme le montrent les tableaux ci-dessous, la prise en compte de l'emballage conduit à survaloriser la phase de conditionnement, en diminuant sensiblement la part du coût énergétique de la phase de production, et plus faiblement celle du transport.

<i>cas emballage et substrat compris</i>	moyenne générale	moyenne abris froid	moyenne serre-chauffée
production	65,43%	37,95%	81,92%
conditionnement	20,39%	30,26%	14,48%
transport	14,17%	31,79%	3,60%

<i>cas emballage et substrat non compris</i>	moyenne générale	moyenne abris froid	moyenne serre-chauffée
production	75,82%	50,50%	91,02%
conditionnement	5,17%	7,24%	3,93%
transport	22,49%	51,56%	5,05%

Tableau 18: Comparaison du coût énergétique selon la phase et le cas considéré (emballage et substrat compris ou non)

La prise en compte du coût énergétique du substrat tend à amplifier le désavantage des productions hors-sol produites sous serres chauffées. Cela modifie également le poids relatif du coût de l'énergie directe dans le coût énergétique de la phase de production puisque sa part diminue de près de 14%.

Mais malgré ce rééquilibrage entre les phases, le résultat final reste identique : les produits du Sud de la France (de saison) ont un bilan énergétique plus favorables, les tomates produites sous serre chauffées présentent des résultats plus critiques, et enfin les produits issus des zones plus lointaines sont dans une situation intermédiaire, avec un avantage pour le Maroc.

6. Limites et propositions

La principale limite de cette étude est liée à la qualité des coefficients utilisés et leur non homogénéité. Certains sont imparfaits de par leur construction (engrais organiques), d'autres sont incertains (plant, substrat, emballage). Par ailleurs, ces coefficients prennent difficilement en compte la variable localisation des zones de production par rapport à la zone d'utilisation et donc la dimension transport. Par exemple, il a été utilisé le même coefficient énergétique pour les trois types de fertilisants considérés, qu'ils soient utilisés au Maroc, en France ou aux Pays-Bas. Or selon la zone étudiée, ces produits (engrais, produits phytosanitaires, plastique, etc.) peuvent demander un transport différent. Cela aurait certainement une incidence particulière pour les productions de l'hémisphère sud et notamment en Afrique, qui importe une grande partie de ses intrants.

La seconde limite pourrait porter à priori, sur la qualité et l'homogénéité des données utilisées, compte tenu la diversité des sources de ces données. Toutefois, la cohérence des résultats dans la comparaison des différents éléments au sein d'une étape, et entre les différentes origines envisagées, laisse penser que les données sont relativement significatives. Une comparaison avec des

études semblables (Canakci *et al.* 2006, Blanke *et al.*, 2005⁸⁷) tend également à confirmer cette hypothèse.

Dans cette étude, la distribution en soi n'a pas été évaluée, puisque l'objectif était de comparer différentes filières d'approvisionnement à partir d'un même point (en l'occurrence Rungis), et que nous sommes partis du principe que la distribution à partir de ce point, était la même quelque soit l'origine du produit. Cependant, une analyse plus détaillée des circuits de distribution français aurait pu mettre en évidence d'autres points critiques, notamment dans la perspective d'une comparaison circuit court/circuit long. D'ailleurs, selon l'étude Geode, la distance moyenne de distribution⁸⁸ pour les fruits et légumes frais a été évaluée à 84km⁸⁹. Cette valeur a été calculée à partir du nombre de plateforme de distribution et de la répartition de la population française sur le territoire. En termes de comparaison entre filière d'importation et filière locale (nationale), une analyse plus étendue n'aurait pas ajouté de significativité.

Afin de conceptualiser l'évaluation des coûts énergétiques (en volume, financièrement et économiquement), il est proposé de chiffrer le coût énergétique. Compte tenu de la complexité de la filière d'une part ainsi que des propres cycles de vie des éléments considérés dans cette évaluation, il est difficilement envisageable d'évaluer le prix réel du coût énergétique de chacun des paramètres considérés. Cela supposerait de connaître l'ensemble des données du cycle de vie de ces éléments. Aussi, il est proposé de convertir le coût énergétique total en Tonne Equivalent Pétrole (Tep), initialement exprimé en Méga Joules (MJ) (avec $1\text{MJ}=2,38.10^{-5}$ Tep). Cette unité offre d'une part l'avantage d'avoir une représentation psychologique plus évidente pour des individus non initiés. Et d'autre part, il est facile d'en donner un prix à partir de celui du baril de pétrole, dont le cours est évalué quotidiennement⁹⁰. Ainsi on obtient les résultats suivants :

cours au 25-09-08:	Maroc		Espagne	Sud-est			Bretagne	Pays-Bas
108,35\$	roucier	maritime		tunnel	serre verre	serre verre		
TOTAL MJ/kg	7,316	5,721	7,334	4,288	33,713	22,064	31,605	33,092
Total tep/kg	1,7419E-04	1,3622E-04	1,7462E-04	1,0210E-04	8,0270E-04	5,2532E-04	7,5249E-04	7,8790E-04
Total \$/kg	0,00132	0,00104	0,00133	0,00078	0,00610	0,00399	0,00572	0,00599

Tableau 19: Evaluation financière du coût énergétique d'un kilo de tomate selon différentes origines

⁸⁷ Canakci *et al.* ont évalué le coût énergétique de la production de tomate turque à 2,492MJ/kg ; et Blanke *et al.* ont évalué le coût de production d'une pomme à 2,8MJ/kg.

⁸⁸ Elle représente la distance entre la plate-forme de distribution et un supermarché.

⁸⁹ Geode (2005). « Approche systémique de la filière fruits et légumes frais – Rapport final, version 2 ».

⁹⁰ On rappelle à qu'une tonne de pétrole brut (1 tep) varie entre 7 et 9,3 barils, soit une moyenne mondiale de 7,6 barils par tonne.

CONCLUSION

La problématique énergétique représente sans aucun doute une variable déterminante pour l'agriculture en générale, et les filières agroalimentaires en particulier. La dimension économique et financière qu'elle représente -de par l'impact des consommations énergétiques sur les coûts de production- est certainement la première approche retenue par les professionnels de la filière. Toutefois cette problématique revête une dimension environnementale non négligeable.

Ainsi dans ce travail, il était proposé de consolider et valider un outil méthodologique permettant d'appréhender la problématique énergétique non pas selon une approche « consommation » mais selon une approche « coût ». De ce fait, la démarche systémique, conduisant à considérer la filière fruits et légumes comme un système interdépendant et complexe, s'est imposée. L'étude empirique a ainsi permis de révéler que même si le transport avait une part significative dans le coût énergétique total, il n'était pas forcément déterminant. Ce sont bien les systèmes de production qui sont en jeu, et plus particulièrement leur durabilité.

En s'inspirant de la méthode d'Analyse de Cycle de Vie et en intégrant les principes de l'approche systémique/filière, ce travail s'inscrit dans une démarche d'analyse globale de la filière fruits et légumes. Nous avons insisté sur les avantages et la nécessité de cette approche, afin d'éviter de valider à tort des idées préconçues. Cela nous conduit donc à conclure que le bilan énergétique n'est qu'une composante de la problématique de localisation des zones de production par rapport aux zones de consommation. Il faut également tenir compte des autres impacts environnementaux suggérés par la méthode ACV (GES, eutrophisation,...), mais il y a également des éléments d'ordre socio-économiques, sociétaux, voire nutritionnels qu'il serait intéressant de mesurer. A ce jour, ce champ d'étude est encore relativement vierge.

LISTE DES SIGLES, ABREVIATIONS

ACV	: Analyse de Cycle de Vie
ADEME	: Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
A.I	: Active Ingredient (Matière Active)
AIE	: Agence Internationale de l'Energie
CATE	: Comité d'action technique et économique
CIRAD	: Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CSIF	: Chambre Syndicale des Importateurs Français de Fruits et Légumes
CTIFL	: Centre Technique interprofessionnel des Fruits et Légumes
DEFRA	: Department of Environmental Food and Rural Affairs (UK)
EACCE	: Etablissement Autonome de Contrôle et de Coordination des Exportations
EVP	: Equivalent Vingt Pieds
GES	: Gaz à Effet de Serre
Ifen	: Institut français de l'environnement
INRA	: Institut National pour la Recherche Agronomique
LCA	: Life Cycle Analysis
MAFF	: Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries
M.A.P.A.	: Ministerio e Agricultura, Pesca y Alimentación (España)
M.I.N	: Marché d'Intérêt National
MJ	: Méga Joules
N.Z	: Nouvelle Zélande
PAM	: Programme Alimentaire Mondial
SCEES	: Service statistique du ministère en charge de l'Agriculture
S.N.T	: Section Nationale Tomate
Tep	: Tonne Equivalent Pétrole
UF	: Unité Fertilisante
UIRR	: Union Internationale des sociétés de transport combiné rail-route

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1: Schéma du développement durable.....	2
Figure 2: Fonctionnement des filières F&L dans l'UE.....	20
Figure 3: Répartition des ventes de F&L par circuits de distribution.....	21
Figure 4: Schéma logistique du Sud de la France avant et après la mise en place de la PF de tri unique	23
Figure 5: Les grands flux européens de fruits et légumes	24
Figure 7: Points de passage de la chaîne logistique.....	32
Figure 8: Comparaison des modes de transport selon leur efficacité énergétique.....	42
Figure 9: Répartition de la production mondiale de tomates en 2006	45
Figure 10: Répartition de la production européenne de tomates en 2006	45
Figure 11: Répartition des exportations mondiales de tomates en 2005.....	46
Figure 12: Origine des importations françaises de tomates en 2006	46
Figure 13: Structure des importations françaises de tomates.....	47
Figure 14: Rendement moyen selon la zone de production	53
Figure 15: Coût énergétique de la fertilisation (en unités fertilisantes N-P2O5-K20) (MJ/kg)	55
Figure 16: Variation du coût énergétique du contrôle phytosanitaire.....	57
Figure 17: Coût énergétique du paillage plastique (MJ/kg)	57
Figure 18: Coût énergétique des plants.....	58
Figure 19: Coût énergétique de la phase de transport (MJ/kg)	61

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1: Coefficients énergétiques des énergies directes.....	35
Tableau 2: Coefficients énergétiques pour le matériel agricole	37
Tableau 3: Coût énergétique de différentes structures de production	37
Tableau 4: Consommation et coût énergétique par mode de transport	42
Tableau 5: Coût énergétique de la structure en place selon la zone de production (MJ/kg)	53
Tableau 6: Consommation d'énergie directe pour la conduite de la culture (MJ/kg).....	54
Tableau 7: Coût énergétique des mix énergétiques pour le fonctionnement d'une serre (MJ/kg).....	54
Tableau 8: Consommation d'unités fertilisantes selon la zone de production (kg _{U.F} /kg tomate).....	55
Tableau 9: Consommation de produits phytosanitaires selon la zone de production (kg _{i.a} /ha)	56
Tableau 10: Coût énergétique du contrôle phytosanitaire selon les zones d'étude (MJ/kg).....	56
Tableau 11: Consommation et coût énergétique du transport intermédiaire (approvisionnement)	59
Tableau 12: Consommation et coût énergétique des étapes de conditionne	60
Tableau 13: Consommation et coût énergétique selon la chaîne logistique adoptée (MJ/tonne).....	61
Tableau 14: Coût énergétique des différents paramètres évalués pour les cinq filières étudiées	62
Tableau 15: Répartition entre pré-acheminement, maillon principal et distribution en France, selon la chaîne logisitique choisie	63

BIBLIOGRAPHIE

- ADEME, (2005). Introduction à l'Analyse de Cycle de Vie (ACV), note de synthèse, mai, 13p.
- ADEME, (2007). Guide des facteurs d'émissions. Version 5.0. Calcul des facteurs d'émission et sources bibliographiques utilisées. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Janvier, 240p.
- ADEME, (2007). Utilisation rationnelle de l'énergie dans les serres. Situation technico-économique en 2005 et leviers d'action actuels et futurs. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Mars, 270p.
- A.E.A Technology, (2005). The validity of food miles as an indicator of sustainable development. Department for Environmental Food and Rural Affairs (DEFRA), ED50254 Issue 7, Report ED50254 Issue 7, London (United Kingdom), July, 103p.
- Agreste, (2008). La hausse du coût des intrants s'amplifie en mai. Agreste Infos rapides, Moyens de production, Juillet 2008, n°7/10.
- Antón A., (2004). Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Universitat politècnica de Catalunya, tesi doctoral, Barcelona (España), Marzo 2006, 235p.
- Antón A., Castells F., Montero JI., Muñoz P., (2005). LCA and Tomato Production In Mediterranean Greenhouses. *Int. J. Agricultural Resources Governance and Ecology* 2(4): 102–112.
- Basset-Mens C., Ledgard S. Carran A., (2005). First Life Cycle Assessment of Milk Production from New Zealand Dairy Farm Systems. Australia New Zealand Society for Ecological Economics, ANZCEE conference, December 11-13, Massey University, Palmerston North, New-Zealand, pp.258-265.
- Baverez S., Desclaux C., (1984). La tomate primeur au Maroc : production et exportation. Mémoire de DEA, ENSA Montpellier, 111p.
- Beauverd C., Terrentroy A., (2002). Optimiser la production des légumes sous abri. Chambre d'Agriculture Bouches-du-Rhône, septembre 2002), 52p.
- Bencharif, A., Rastoin J.L, (2007). Concepts et Méthodes de l'Analyse de Filières Agroalimentaires : Application par la Chaîne Globale de Valeur au cas des Blés en Algérie, Working Paper n°7, MOISA, Novembre, 24p.
- Blanke M., Burdick B., (2005). Food (miles) for thought – Energy balance for locally-grown versus imported apple fruit. *In Environmental Science and Pollution Research*, vol 12, n°3, pp125-127.
- Bochu J-L., Coutirier C., Pointerau P., Charru M., Chantre E., (2005). Maîtrise de l'énergie et autonomie énergétique des exploitations agricoles françaises : état des lieux et perspectives d'actions pour les pouvoirs publics, Décembre, 85p.
- CAEEDAC (The Canadian Agricultural Energy End-Use Data and Analysis Centre), (2000). A descriptive analysis of energy consumption in the agriculture and food sector in Canada. Final Report. February, 26p.

Canakci M., Akinci I., (2003), Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production, In *Energy*, n°23, pp.1243-1256.

Carlsson-Kanyama A., Faist M., (2000). *Energy Use in the Food Sector: A data survey*. AFR report 291, February. Environmental Strategies Research Group, Department of Systems Ecology, Stockholm University, Sweden.

Carlsson-Kanyama A., Fuentes C., Biel A., Bergström K., Grankvist G., Lagerberg., Fogelberg C., Shanahan H., Solér C. (2006). Environmental information in the food supply system. SwedishDefenceResearchAgency, January 2006, 117p.

Chambre d'Agriculture Bouches-du-Rhône, (2006). Tomates en Provence: quels coûts pour quelles serres et quelles productions. CTIFL, Journée nationale Serres et énergies, Balandran (France), 21 septembre 2006.

Chibane A., (1999). Fiche technique tomate sous serre. PNTTA-MADRPM/DERD, Transfert de technologie en agriculture, n°57, Juin 1999.

CNT, (2005). Le transport intermodal en Europe. Conseil National des Transports, Rapport sur le transport combiné, Annexe n°2.

Codron J.M., (1995). Changement technique et filière tomate. 15ème séminaire d'économie rurale, 13-16 Sept. 1993, Montpellier (France). In Byé, P. (éd.) ; Muchnick, J. (éd.). - Innovation et sociétés. Quelles agricultures ? Quelles innovations ? : 1. Dynamismes temporels de l'innovation, 242 p. - Montpellier : CIRAD, 1995, pp 187-196.

Codron J.M., Baverez S., Desclaux C., (1985). Le renouveau de la tomate primeur au Maroc. INRA-ESR, Série Etudes et Recherches n°92, Avril, 136 p.

Coxworth E., (1997). Energy use trends in Canadian agriculture: 1990 to 1996. Report to the Canadian Agricultural Energy Use Data and Analysis Centre, Saskatoon, December, 23p.

Dalgaard T., Halberg N., Porter J.R., (2001). A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. In *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol 87, pp. 51-65.

Desmas S., (2005). Analyse comparative de compétitivité : le cas de la filière tomate dans le contexte euro-méditerranéen. CIHEAM-IAMM, Mémoire de fin d'études, Montpellier (France), 74p.

Dieye P.N, (2003). Comportement des acteurs et performance de la filière lait périurbain de Kolda (Sénégal), Thèse n°61, IAMM, 71p.

Dosba F., (2006). Principaux enjeux pour la filière fruits: forces et faiblesses. In présentation Enjeux Angers 30 mars 2006, 5p.

Dubon G., (2007). L'énergie dégage de nouveaux horizons, Réussir Fruits et Légumes n° 260, Mars 2007, p.35.

Duteurtre G, Koussous M.O, Leteuil H., (2000). Une méthode d'analyse de filière, document de travail, synthèse de l'atelier du 10 - 14 avril 2000, LRVZ, N'Djamena (Tchad), 36p.

Ecobilan – Pricewaterhouse Coopers, (2000). Analyse de cycle de vie des caisses en bois, carton ondulé et plastique pour pommes. Synthèse version finale, ADEME, octobre, 83p.

Ecobilan – Pricewaterhouse Coopers, (2002). Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants en France : Rapport technique - Version définitive. ADEME/DIREM, Novembre, 132p.

Ecobilan – Pricewaterhouse Coopers, (2004). Evaluation des impacts environnementaux des sacs de caisse Carrefour. ACV des sacs de caisse en plastique, papier et matériaux biodégradable. ADEME-Ecobilan, février, 119p.

Ecobilan, (2005). « Une agriculture durable : le garant du développement en Europe », Juillet

Elings A., Kempkes F.L.K., Kaarsemaker R.C., Ruijs M.N.A., van de Braak N.J., Dueck T.A., (2005). The energy balance and energy-saving measures in greenhouse tomato cultivation. *In Acta Horticulturae*, n°691, pp.67-74.

Enerdata, (2004). Efficacité énergétique des modes de transport : Rapport final. METLTM, Janvier, 60p.

FAO, (1999). « Multiples fonctions de l'agriculture et des terres, l'état des lieux ». Document établi pour la conférence FAO/Pays-Bas « Le caractère multifonctionnel de l'agriculture et des terroirs », 12-12 septembre 1999, Maastricht (Pays-Bas).

Faudrin J.C., Portet P., (2004). Audit de la filière des fruits et légumes - Rapport de synthèse. Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales, mars 2004, 30p.

Feschet P., Temple L., De Bon H., Loeillet D., (2008). Ecobilan énergétique des filières fruits et légumes – Innovations méthodologiques en cours, Colloque CLERSE, 20-22 novembre 2008, (communication acceptée), 19p.

Feschet P., Loeillet D. (2008). Ecobilan énergétique fruits et légumes, les professionnels engagent la réflexion. *In FruiTrop* n°157, Juin 2008, pp2-3.

Fischer J., (1999). Energy inputs in Swiss agriculture: Working paper 99-01. Common Agricultural Policy Regional Impact Analysis, Tänikon (Swiss), 19p.

FONAIAP, (1995). Producción de hortalizas. 2da edición ampliada. Fondo Nacional de Investigación agropecuarias. Centro de investigaciones agropecuarias del estado Lara. Maracay, Serie B, 208p.

Foster C., Green K., Bleda M., Dewick P., Evans B., Flynn A., Mylan J., (2006). Environmental impacts of food production and consumption: a research report to the Department for Environment, Food and Rural Affairs. Manchester Business School. Defra, London (Uk), December 2006, 199p.

Frischknecht R., Jungbluth N., (2004). Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Ecoinvent report No. 3, Dübendorf, May, 116p.

Frischknecht R., Jungbluth N., (2004). Overview and Methodology. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Ecoinvent report No. 1, Dübendorf, June, 67p.

Frischknecht R., Althaus H-J., Bauer C., Doka G., Heck T., Jungbluth N., Kellenberger D., Nemecek T., (2007). The Environmental Relevance of Capital Goods in Life Cycle Assessments of Products and Services. *Int J LCA*, February, 11p.

Gaillard G., Crettaz P., Hausheer J., (1997). Inventaire environnemental des intrants agricoles en production végétale. Station fédérale de recherche en économie et technologie agricoles, Tänikon (Suisse), 49p.

Geode (2005). « Approche systémique de la filière fruits et légumes frais – Rapport final, version 2 ». *Predit 3*, 283p.

Grenelle de l'Environnement, (2007). Groupe IV - Vers des modes de production et de consommation durables, Synthèse et principales mesures, 8p.

Halberg N., (2003). Life Cycle Assessment in the Agri-food sector. Proceedings from the 4th International Conference. Danish Institute of Agricultural Sciences, Bygholm (Denmark), 6-8 October, 288p.

Hélias A., (2008). L'Analyse de Cycle de Vie – Les impacts environnementaux, Formation permanente INRA, 9-11 Juin 2008.

INRA, (2004). Quelques caractéristiques des filières fruits et légumes. *In* Salon International de l'Agriculture, Paris, Mars, 31p.

Jones A., (2006). *A life cycle analysis of UK supermarket imported green beans from Kenya*. Department for International Development (DFID), 29p.

Kitani O., (1999). The CIGR handbook of agricultural engineering. Energy & biomass engineering. International Commission of Agricultural Engineering (CIGR)-American Society of Agricultural Engineers, Volume V, 329 p.

Labouze E., Schultze A., Cruyppennick H., (2007). Etude de l'impact environnemental du transport des fruits et légumes frais importés et consommés en France métropolitaine- Rapport final, Bio Intelligence Service-Ademe, novembre 2007, 152p.

MAFF, (2000). Energy use in organic farming systems. Final project report, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London (United Kingdom), January, 21p.

Marcotte M., Maxime D., Arcand Y., (2005). Utilisation d'énergie et émissions de gaz à effet de serre. Pp. 176-179 *in* Lefebvre A., Eilers W., Chunn B., 2005. L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux – Rapport n°2. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ontario).

Milà i Canals L., Burnip G.M., Cowell S.J., (2005). Evaluation of the environmental impacts of apple production using Life Cycle Assessment (LCA): Case study in New Zealand. *In* Agriculture, Ecosystems and Environment, n°214, pp226-238.

Mila i Canals L. *et al.*, (2007). Comparing domestic versus imported apples: a focus on energy use. *In* Environmental Science and Pollution Research, vol 14, n°5, pp338-344.

Montigaud J.C., (2001). La logistique dans les filières agro-alimentaires et ses conséquences (avec référence aux fruits et légumes frais). Instituto Nazionale di Economia Agraria, Giornata di studio la logistica come strumento di razionalizzazione del sistema agro-alimentare, 27 giugno, Roma (Italia), 14p.

Montigaud J.C., (2006). L'organisation et l'évolution de la filière fruits et la logistique. Séminaire INRA, groupe filières, Angers, 30 Mars, 6p.

Montigaud J.C., Martinez R., Schmitt C., (2006). Les PF logistiques fruits et légumes et la distribution: le cas du sud-est de la France. Colloque régional « Pour et sur le développement régional » en Languedoc-Roussillon, Montpellier, 21 Juin, 4p.

Montigaud J.C., (2007). Logistique et compétitivité des exportations F&L des pays méditerranéens vers l'UE : le cas du Maroc. Séminaire DG AGRI groupe des experts tomates, 28 sept 2007, Bruxelles (Belgique).

LERM, (2007). L'analyse du cycle de vie : historique et environnement normatif actuel, Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie des Liantes Hydrauliques, Arles.

Nations Unies, (1993). Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement – Principes de gestion des forêts, New York (USA).

Nations Unies, (1987). Notre avenir à tous. Rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement, Oxford University Press, Août 1987, 318p.

Nemecek T., Heil A., Huguenin O., Meier S., Erzinger S., Blaser S., Dux D., Zimmermann A., (2004). Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Ecoinvent report No. 15, Dübendorf, April, 289p.

Ozkan B., Akcaoz H., Fert C., (2003). Energy input-output analysis in Turkish agriculture. *In* Renewable and sustainable energy reviews, vol 29, April, pp. 39-51.

Ozkan B., Hatirlia S.A., Fert C., (2004). An econometric analysis of energy input-output in Turkish agriculture. *In* Renewable and sustainable energy reviews, vol 9, July, pp 608-623.

PAM, (2008). L'ONU s'inquiète du développement des biocarburants, Programme Alimentaire Mondiale, Genève (Suisse), mars.

Pauwels P., Le Jeannic F., de Corlieu T., Nanot B., Crosnier-David M., Grégoire P., Carmès L., Roudaut J.P., Berger S., (2005). Les déchets de l'agriculture – Essais de quantification. Ifen-Scees, notes de méthode n°15.

Pfeiffer D.A., (2004). Eating Fossil Fuels. *In* From the Wilderness Publications, October, 7p.

Piau A., Korol M., (2005). Efficacité d'utilisation de l'énergie. *In* Lefebvre A., Eilers W., Chunn B., 2005. L'agriculture écologiquement durable au Canada: Série sur les indicateurs agroenvironnementaux – Rapport n°2. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ontario), pp. 80-86.

Pimentel D., (1980). Handbook of energy utilization in agriculture. CRC Press, Boca Raton, 475p.

Pretty J.N., Ball A.S., Lang T., Morison J.I.L., (2005). Farm costs and food miles: an assessment of the full cost of the UK weekly food basket. *In Food Policy*, February, 19p.

Pretty J.N., Brett C., Gee D., Hine R.E., Mason C.F., Morison J.I.L., Raven H., Rayment M.D., Van Der Bijl G., (2000). An assessment of the total external costs of UK Agriculture. *In Agricultural Systems*, vol. 65, pp113-136.

Rama I., Lawrence P., (2008). Food Miles – A Critical Evaluation, Victorian Department of Primary Industries, Melbourne (Australia), April, 8p.

Rastoin J.L, (1995). Dynamique du système alimentaire français, in *Economie et Gestion Agro-alimentaire*, n° 36, juillet, Cergy-Pontoise, pp. 5-14.

Redani L., (2003). Analyse du potentiel agro-exportateur marocain et des avantages comparatifs avec l'Espagne : Etude de cas de la tomate primeur. CIHEAM-IAMM, thèse *Master of Science*, Série Thèses et Masters n°58, 199p.

Redlingshöfer B., (2006). Vers une alimentation durable ? Ce qu'enseigne la littérature scientifique. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, n°53, Décembre, pp.83-102.

Risoud B., Bochu J.L., (2002). Analyse énergétique d'exploitations agricoles et pouvoir de réchauffement global. Méthode et résultats sur 140 fermes françaises. Solagro-Enesad, Rapport d'étude pour l'ADEME, 102p + annexes.

Risoud B., Bochu J.L., (2002). Référentiel pour l'analyse énergétique de l'exploitation agricole et son pouvoir de réchauffement global. Solagro-Enesad, Annexes au rapport d'étude pour l'ADEME, 43p.

Rizet C., Keïta B., (2005). Chaînes logistiques et consommation d'énergie : cas du yaourt et du jean. Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS), juin 2005, 85p.

Russo G., Scarascia Mugnozza G., (2005). LCA methodology applied to various typology of greenhouses. *In Acta Horticulturae*, n°691, pp.837-844.

Serres M., Dubon G., (2008). Spécial Felscope : Distribution, un lien entre producteurs et consommateurs, Réussir Fruits et Légumes, Février 2008.

Scertrini S., Jelmini G. (2004). Test de différents substrats pour la culture hors sol de la tomate. *In Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture*, Vol. 36, n°5, pp.289-294.

Schlich A., Bielgler I., Hardtert B., Luz M., Schröder S., Schroeber J., Winnebeck S., (2006). La consommation d'énergie finale de différents produits alimentaires: un essai de comparaison. *In Courrier de l'environnement de l'Institut National de la Recherche Agronomique*, n°53, Paris, Décembre, pp. 111-120.

Skiredj A., (2007). Principes de la construction des serres : matériaux, aération, échanges d'air et cas réels de problèmes. Institut Agronomique Vétérinaire Hassan II, Cours construction des serres canariennes, Agadir (Maroc).

Van der Velden N.J.A, Janse J., (2004). Sustainability of greenhouse fruit vegetables : Spain versus the Netherlands ; development of a monitoring system. *Acta Horticulturae*, n°655, pp.275-281.

Van der Velden N.J.A, Janse J., Kaarsemaker R.C., Maaswinkel R.H.M., (2004). Duurzaamheid van vruchtgroenten in Spanje – Proeve van monitoring. [La durabilité des légumes de fruit en Espagne – test de suivi]. LEI Wageningen, Mei 2004, 52p.

Vegetable, (2006). Dossier tomate « L'énergie au cœur du débat », n°228, Novembre, pp. 29-44.

Victoria University of Wellington, (2007). Embodied Energy Coefficients. Centre for Building Performance Research, Wellington (New Zealand), 14p.

Wells C., (2001). Total energy indicators of agricultural sustainability: dairy farming case study. Technical paper 2001/03. Ministry of Agriculture and Forestry (MAF), New Zealand, August, 90p.

Périodiques

Fleitour G., (2008). Derrière l'étiquette verte, plusieurs recettes. Le Monde, 8 Juillet 2008, p.

L. A., (2008). La hausse du pétrole alimente la flambée des charges agricoles. Les Echos, 27 Juin 2008.

Lecompte F., (2008). L'étiquette verte esquisse enfin ses premiers pas. LSA, 12 Juin 2008, pp38-39.

Saintourens T., (2008). La fiscalité verte marque des points. L'Express, 19 Juin 2008, pp102-103.

WEBOGRAPHIE

Fruit et Légumes et agriculture

- Statistiques agricoles

<http://agreste.agriculture.gouv.fr/>

<http://www.fruits-et-legumes.net/>

<http://www.interfel.com/>

<http://www.ctifl.fr/>

[http://www.oniflhor.fr/filiere/fruit legumes.asp](http://www.oniflhor.fr/filiere/fruit_legumes.asp)

<http://faostat.fao.org/>

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>

- Technique de production

<http://www.legume-fruit-maroc.com>

<http://www.vulgarisation.net/>

- Divers

<http://www.saintcharlesinternational.fr/>

<http://www.fondation-louisbonduelle.org/>

Energie :

- Statistiques énergie - Base de données Pégase :

<http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/pegase/pegase/resultat.php>

- Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières :

<http://www.industrie.gouv.fr/energie/sommaire.htm>

- ADEME

<http://www2.ademe.fr/>

- Coefficients énergétiques

<http://www.victoria.ac.nz/cbpr/documents/pdfs/ee-coefficients.pdf>

- Méthode

<http://www.solagro.org/>

<http://www.carbontrust.co.uk/>

<http://www.carbonfootprint.com/>

<http://www.ademe.fr/bilan-carbone/>

Transport :

- Statistiques transport de marchandises

http://www.statistiques.equipement.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=33

<http://sitram.application.equipement.gouv.fr/SitramWeb/arbo.do>

- Calcul de distance

<http://www.e-ships.net/dist.htm>

<http://www.landings.com/langdings/pages/search/re-calc.htm>

- Divers

<http://www.uirr.com/>

ANNEXES

Annexe 1 : Matrice des coefficients énergétiques

	Coefficient énergétique	Unité	Source
électricité	9,6	MJ/MWh	<i>Planète, Combes, 1998</i>
diesel	40,7	MJ/litres	<i>Planète, Combes, 1998</i>
essence	41,5	MJ/litres	<i>Planète, FHL</i>
fioul domestique	40,7	MJ/litres	<i>Planète, Combes, 1998</i>
fioul lourd	47,8	MJ/litres	<i>CIGR, 1999</i>
lubrifiant	49,2	MJ/litres	<i>Planète, IFP</i>
gaz naturel	33,8	MJ/MWh	<i>Planète, Combes, 1998</i>
propane/butane	50,8	MJ/kg	<i>Planète, ITCF, 1999</i>
matériaux divers	Coefficient énergétique	Unité	Source
bois	12,00	MJ/kg	<i>Canakci, Hetz, 1998</i>
fil de fer fer	27,73	MJ/kg	<i>Canakci M., Akinci I., 2003</i>
plastique	103,00	MJ/kg	<i>Victoria University of Wellington, 2007</i>
PE (polyéthylène)	103,00	MJ/kg	<i>Victoria University of Wellington, 2007</i>
acier	32,00	MJ/kg	<i>Victoria University of Wellington, 2007</i>
verre	12,70	MJ/kg	<i>Canakci, Hetz, 1998</i>
ciment	7,79	MJ/kg	<i>Canakci, Hetz, 1998</i>
sable	0,08	MJ/kg	<i>Canakci, Hetz, 1998</i>
intrant production	Coefficient énergétique	Unité	Source
engrais minéraux			
azote N	52,62	MJ/kg UF	<i>Planète, ITCF 1999</i>
phosphore P2O5	15,55	MJ/kg UF	<i>Planète, ITCF 1999</i>
potasse K2O	12,1	MJ/kg UF	<i>Planète, Gaillard 1997, ITCF 1999</i>
chaux	2,8	MJ/kg UF	<i>Planète, Gaillard 1997, ITCF 1999</i>
souffre	18,4	MJ/kg UF	<i>Planète, Gaillard 1997, ITCF 1999</i>
engrais organiques			
fumier	8,9	MJ/tonne	<i>Planète, 2002</i>
compost	51,5	MJ/tonne	<i>Planète, 2002</i>
produits phytosanitaires			
herbicides	238	MJ/kg AI	<i>MAFF, 2000</i>
fongicides	199	MJ/kg AI	<i>MAFF, 2000</i>
pesticides	92	MJ/kg AI	<i>MAFF, 2000</i>
plants	0,28	MJ/plant	<i>Canakci, 2003</i>
substrat	18	MJ/litre	<i>Reist et Gesy</i>
emballages (plateau carton)	13,33	MJ/unité	<i>ADEME 2000</i>

	Coefficient énergétique	Unité	Source
matériel agricole			
tracteur	136	MJ/kg	MAFF, 2000
remorque	80	MJ/kg	Wells, 2001
cultilabour	178	MJ/kg	MAFF, 2000
griffon	80	MJ/kg	Wells, 2001
herse rotative	147	MJ/kg	MAFF, 2000
cultirâteau	80	MJ/kg	Wells, 2001
assistance à la récolte	280	MJ/kg	Wells, 2001
assistance à la plantation	280	MJ/kg	Wells, 2001
planteuse/semoir	131	MJ/kg	MAFF, 2000
épandeur d'engrais	129	MJ/kg	CIGR, 1999
pulvérisateur	126	MJ/kg	MAFF, 2000
dérouleur	80	MJ/kg	Wells, 2001
fraise	144	MJ/kg	MAFF, 2000
broyeur	80	MJ/kg	Wells, 2001
rotobêche	80	MJ/kg	Wells, 2001
système irrigation			
réservoir d'eau	2,1	GJ/ha	Wells, 2001
(pompes, à la raie	25	GJ/ha	Wells, 2001
tuyaux, goutte à goutte	13,5	GJ/ha	Wells, 2001
asperseurs, pivot central	12,5	GJ/ha	Wells, 2001

Annexe 2 : Equivalence entre les unités énergétiques

	tep	MJ	m3	litres	kWh
1tep		42000	1166,86	1165,47	11666,6667
1MJ	2,3810E-05		0,027782408	2,7749E-02	0,277777778
1m³ (gaz)	0,000857	35,994			9,998333333
1litre (gasoil)	8,5802E-04	36,04			
1kWh	8,5714E-05	3,6	0,100		

Annexe 3 : Liste des personnes ressources

Pays	Entreprise/organisme	Nom	Prénom	Fonction
Espagne	Hortyfruta	Changarnier	Céline	assistante
Espagne	Hortyfruta	Pardo	Maria José	gerente
Espagne	Syndicat des jeunes agriculteurs de Malaga	Fauly	Benjamin	
Espagne	Universidad de Almeria	Salinas Yasuda	Roberto	chercheur
Espagne	Universidad de Murcia	Martínez-Carrasco	Federico	
France	Agreste PACA	Moennan	Chantal	Responsable documentation
France	AZ Méditerranée	Blouin	Annaïg	aspect production
France	AZ Méditerranée	Pons	Philippe	président groupe
France	AZ Méditerranée	Schneider	Estelle	aspect énergétique
France	Azura Perpignan	Coufleau	Emilie	responsable qualité
France	Canavese	Metadier	Christian	
France	CATE	Guillou	Alain	
France	CDDM	Pelletier	Brigitte	
France	Cemagref	Basset-Mens	Claudine	chercheur
France	Cemagref	Langevin	Brigitte	chercheur
France	CER France 35	De Lansanut	Geneviève	responsable service Etude
France	CER Landemeau	Castel	Jean-Jo	
France	Cerafel	Chesnais	Olivier	
France	Cerafel	Oblez	Brigitte	
France	Chambre d'Agriculture Bouche du Rhône	Brondino	Laura	conseillère références
France	Cirad ODM	Loeillet	Denis	chercheur
France	CSIF	Aurel	Jean-Claude	
France	CSIF	Hager	Maryvonne	
France	CTIFL	Grasselly	Dominique	chercheur
France	Enesad / UMR INRA-ENESAD CESAER	Risoud	Bernadette	chercheur
France	Forum Phyto	Proust	Jean-François	
France	IAMM	El Hadad-Gauthier	Fatima	chercheur
France	Idyl France	Puech	Philippe	
France	INRA Avignon	Lecompte	François	chercheur
France	Ivoire Logistic	Bernard	Jean-Luc	
France	J.H. Mesguen	Ayme	Remy	chauffeur
France	Léon Vincent Fruits	Antoine	Gérard	directeur commercial
France	Océane	Blanloeil	Nicolas	responsable qualité et clients
France	Pomona/Fruidor	Brunel	Victor	stagiaire
France	Pomona/Fruidor	Dalle	François	
France	Primazro/Agrissouss	Ponthieux	Philippe	
France	Pronatura	Tremblay	Valérie	Directrice qualité
France	Savéol	Baudoin	Clara	responsable environnement
France	Savéol	Brehinier	Pascal	directeur logistique et informatique
France	Savéol	Gueguen	René	directeur de station
France	Savéol	Plassard	Brigitte	technicienne
France	Savéol	Rault	Pierrick	Directeur R&D Saveol
France	SCA Olivier frères	Olivier	Jean Luc	producteur
France	Section Nationale Tomate	Barreau	Jean-Pierre	
France	SICA	Gourlay	Julie	technicienne tomate
France	Solarenm	Georges	Isabelle	attachée de direction

France	St Charles International/SNIFL	Jordan	Georges	président
France	St Charles International/SNIFL	Patte	David	
France	Supagro	Bouhsina	Zouhair	chercheur
France	Supagro	Montigaud	Jean-Claude	chercheur
France	UCPT	Dupuis	Guy	technicien tomate
Hollande	Freshfel	Binard	Philippe	
Maroc	Agrisouss	El Oufir	Jamal	logistique
Maroc	Agrisouss	Himid	Omar	directeur financier
Maroc	Apefel	Brazrou		
Maroc	Apefel	Ibnoutab	Charifa	
Maroc	Azura	Boniole	Pierre	directeur groupe
Maroc	COPAG Coopérative Agricole	Bouharroud	Rachid	doctorant
Maroc	Dardour primeurs (Primazro)	Adardour	Med	
Maroc	Dardour primeurs (Primazro)	Ziani	Driss	directeur de station
Maroc	Delassus	Souil	Hervé	
Maroc	IAV Hassan II	Hanafi	Abdelhaq	professeur
Maroc	Idyl Maroc	Hahou	Abdellah	ingénieur
Maroc	Idyl Maroc	Puech	Loïc	
Maroc	Pomona Maroc	Jacquemart	Etienne	directeur de station
Maroc	Primeur Bio du Souss	Ajaa	Mohamed	directeur de station
Suisse	Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART	Moldes	Alma	Responsable documentation
	Reefer Trends	Bright	Richard	Expert fret maritime

Annexe 4 : situations des zones de production

- Maroc



Source : google map

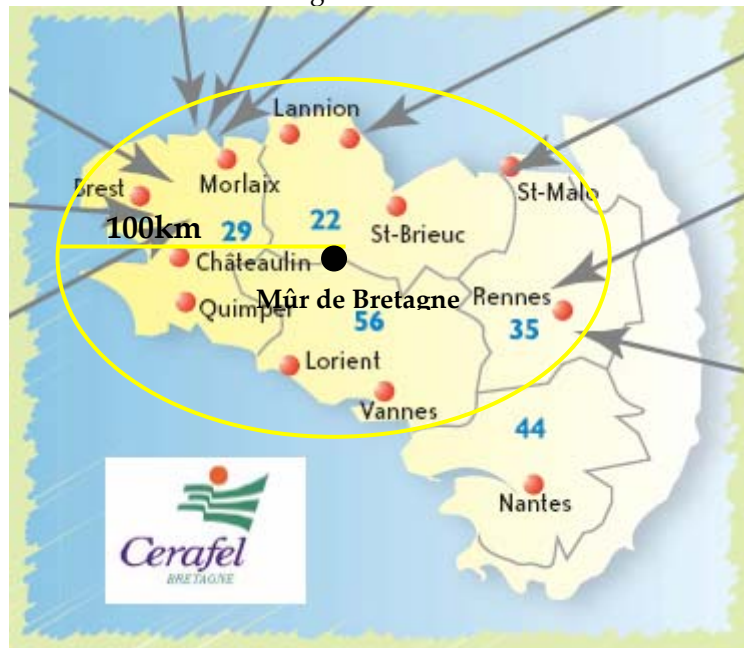
- Espagne



Source : google map

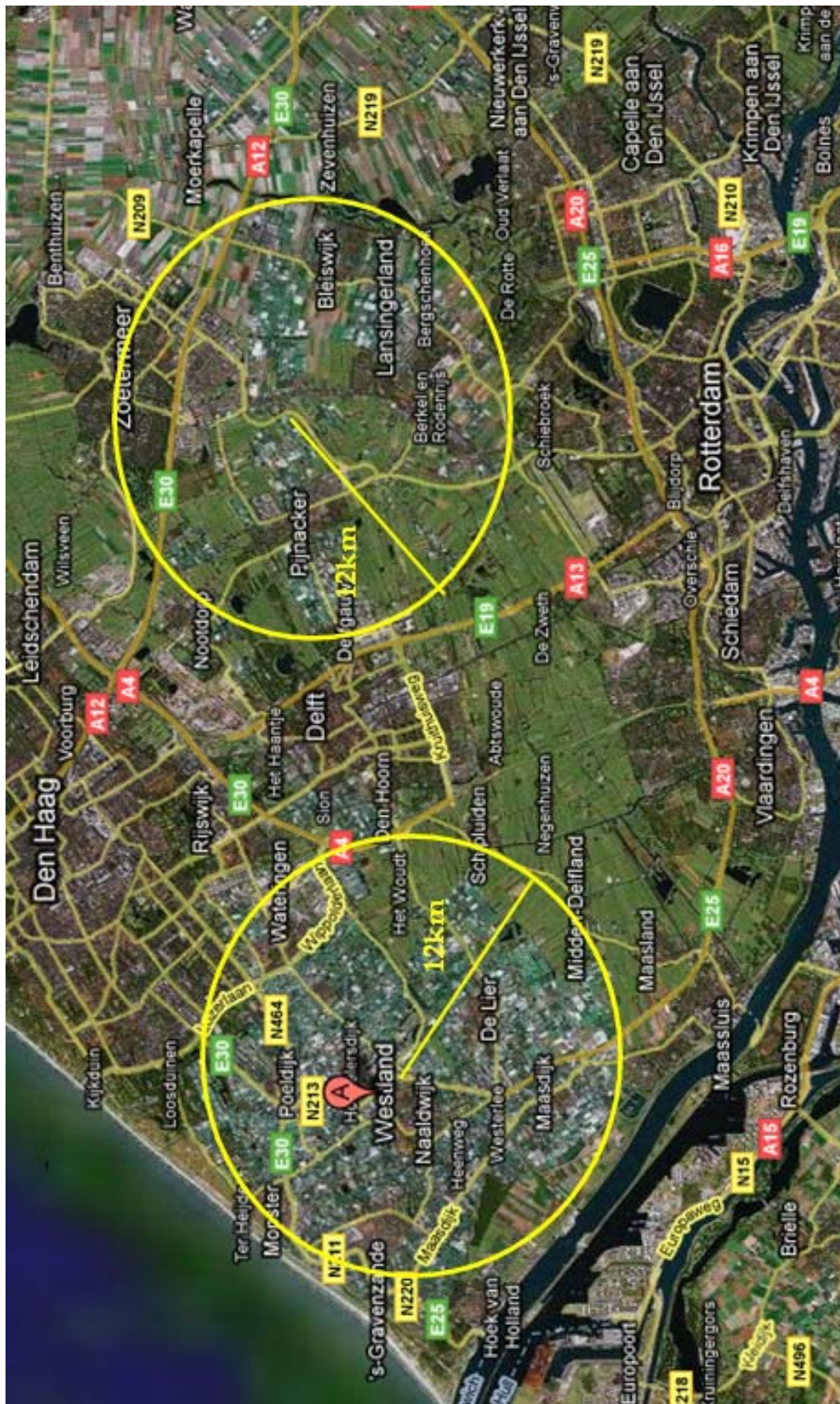
-
- Map of the Provence-Alpes-Côte d'Azur region in France, centered on Aix-en-Provence. A yellow circle with a radius of 70 km is drawn around the center. The map shows major roads (A, N, E), cities, and geographical features like the Étang de Vaccarès and the Parc Naturel Régional de Camargue. A red pin marks the center of the circle at Aix-en-Provence.

- Bretagne



84

- Pays-Bas



Annexe 5: Calcul du coût énergétique d'un plateau carton

Ecobilan-Pricewaterhouse, (2000). Analyse de Cycle de Vie des caisses en bois, carton ondulé et plastique pour pommes. ADEME, Octobre 2000, 83p.

- Unité fonctionnelle : « emballer et permettre le transport des pommes depuis le producteur jusqu'au distributeur final, de manière à mettre à la disposition des consommateurs français 1000 kg de pommes ».
- Sachant que les caisses étudiées avaient une contenance de 7 kg de pommes et que le taux de perte en pommes était de 1%, la quantité de caisse se rapportant à l'unité fonctionnelle est égale à environ 144 unités.
- Le marché de la grande distribution organisée représente 60% du volume des ventes, le reste des circuits de distribution représente environ 40%.
- Consommation d'énergie non renouvelable (en MJ) pour les plateaux en carton ondulé :
 - ❖ grande distribution : 1963 MJ/unité fonctionnelle
 - ❖ autres marchés : 1854 MJ

⇒ D'où un coefficient énergétique moyen de : $(1963 \times 0,6 + 1854 \times 0,4) / 144 = 13,33 \text{ MJ/carton}$